

# LogiApps-toiminnanohjausjärjestelmän optimointipalvelun soveltuvuus ja hyödyt pienpakettien jakeluun

Juuso Horppu

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2015

Logistiikan koulutusohjelma  
Tekniikka ja liikenne



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) Horppu, Juuso	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 10.4.2015
	Sivumäärä 45 + liitteet 9	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: X
Työn nimi <b>LogiApps-toiminnanohjausjärjestelmän optimointipalvelun soveltuvuus ja hyödyt pienpakettien jakeluun</b>		
Koulutusohjelma Logistiikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Hannu Lähdevaara		
Toimeksiantaja(t) Silvasti Software Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Silvasti Softwaren kehittämän LogiApps-toiminnanohjausjärjestelmän optimointipalvelun kykyä laatia reititys pienpakettien jakelussa toimivalle asiakasyritykselle. Työn toisena tavoitteena oli tutkia, millaisia säästöjä LogiApps:n optimointipalvelun suunnittelemalla reitityksellä on mahdollista saavuttaa, kun optimoitua reittiä verrataan ajojärjestelijän tekemään reittisuunnitelmaan.</p> <p>Työhön kerättiin dataa asiakasyrityksen tietojärjestelmästä sekä yrityksen toiminnasta tehdyistä selvityksistä. Lisäksi tietoa asiakasyrityksen toiminnasta kerättiin haastattelemalla asiakasyrityksen henkilökuntaa sekä toimintaa havainnoimalla. Reittien optimointi suoritettiin LogiApps:n optimointipalvelua hyväksikäyttäen.</p> <p>Työn tulokset paljastivat, että reittien optimoinnilla on mahdollista saavuttaa 5–15 %:n vähennys päivän aikana ajettuihin kilometreihin. Tärkeä optimoinnilla saavutettu hyöty oli myös ajoneuvojen määrän väheneminen. Vaikka optimoimalla saavutettiin luvuilla mitattuna selkeitä säästöjä, optimointipalvelun käyttöönotto asiakasyrityksen operatiivisessa ajojärjestelyssä olisi vaikeaa, sillä tutkimus paljasti muutamia puutteita optimointipalvelun toiminnassa sekä käyttöliittymässä. Erityisesti dynaamisen optimoinnin sekä vyöhyke-optimoinnin puuttuminen vaikeuttavat optimointipalvelun käyttöä kyseisen yrityksen toiminnassa.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Kuljetusten optimointi, reittisuunnittelu		
Muut tiedot Liitteet luottamuksellisia.		



Author(s) Horppu, Juuso	Type of publication Bachelor's thesis	Date 10.4.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 44 + attachments 9	Permission for web publication: X
Title of publication <b>Suitability and benefits of LogiApps ERP system's optimization service in small package delivery</b>		
Degree programme Degree Programme in Logistics		
Tutor(s) Lähdevaara, Hannu		
Assigned by Silvasti Software Oy		
<p>Abstract</p> <p>Silvasti Software Oy has developed an enterprise resource planning software called LogiApps. The study focused on LogiApps ERP system's optimization service. The goal of this thesis was to determine the ability of the optimization service, in planning the daily routes for a client company dealing in small package delivery business. The second purpose of the thesis was to find out the saving potential that could be achieved with the use of LogiApps's optimization service when comparing optimized plan to transport coordinator's plan.</p> <p>Data for the thesis was collected from the client company's data system and previous work studies. Data was also acquired by interviews and observing the work process. Route optimization was done with the LogiApps's optimization service.</p> <p>The results of this study revealed that with route optimization, it is possible to decrease daily transport distances by 5–15 %. Another important aspect achieved with route optimization was that the number of vehicles used in routing could be decreased. Although the possible benefits of LogiApps's optimization service were quite clear, the support to the route planning work in this particular company is not sufficient because of some shortages in the optimization engine and the interface. Dynamic optimization and zone optimization which are important to the client company's daily operations are currently not implemented in LogiApps.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Optimization, route planning		
Miscellaneous Attachments are confidential.		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Silvasti Software Oy .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Optimointi.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>Kuljetusongelmat.....</b>	<b>4</b>
3.1.1	Kauppamatkustajan ongelma.....	4
3.1.2	Kiinalaisen postimiehen ongelma .....	6
3.1.3	Ajoneuvon reititysongelma.....	7
3.1.4	Ajoneuvon reititysongelman variaatiot .....	7
<b>3.2</b>	<b>Ratkaisumenetelmät .....</b>	<b>9</b>
3.2.1	Tarkat menetelmät .....	9
3.2.2	Heuristiset menetelmät .....	10
3.2.3	Metaheuristiikka.....	12
<b>3.3</b>	<b>Reittioptimoinnin hyödyt .....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Kuljetusten suunnittelu ja ohjaus .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1</b>	<b>Suunnittelun tasot .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2</b>	<b>Telematiikka kuljetusten suunnittelun ja ohjauksen apuna.....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Pikarahti ja pienpakettien jakelu.....</b>	<b>20</b>
<b>5.1</b>	<b>Maailmanlaajuiset pikarahtipalvelut .....</b>	<b>20</b>
<b>5.2</b>	<b>Pienpakettien jakelu.....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>CASE: Kuljetusyritys X .....</b>	<b>25</b>
<b>6.1</b>	<b>Kuljetusyritys X .....</b>	<b>25</b>
<b>6.2</b>	<b>Tutkimuksen menetelmät .....</b>	<b>25</b>
<b>6.3</b>	<b>Tutkimuksen toteutus.....</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Tulokset.....</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>Tulosten analysointi.....</b>	<b>35</b>
<b>8.1</b>	<b>Optimoinnin tulokset .....</b>	<b>35</b>

8.2	Optimoinnin mahdollinen käyttö Kuljetusyritys X:ssä.....	37
8.3	Luotettavuuden arviointi.....	37
9	Johtopäätökset .....	39
	Lähteet .....	42

## Kuviot

Kuvio 1.	Yksi mahdollinen reitti seitsemän kaupungin TSP:ssä.....	5
Kuvio 2.	Pyyhkäisy-algoritmin toimintaperiaate.....	11
Kuvio 3.	Optimoinnin hyödyt.....	15
Kuvio 4.	Pakettiautojen kustannustekijät.....	24
Kuvio 5.	Osoitteiden paikannus.....	27

## Taulukot

Taulukko 1.	Jakelutapahtuman kesto .....	28
Taulukko 2.	Reititys tiistai 10.2.2015.....	31
Taulukko 3.	Reititys keskiviikko 11.2.2015 .....	32
Taulukko 4.	Reititys torstai 12.2.2015 .....	33
Taulukko 5.	Reititys perjantai 13.2.2015.....	33
Taulukko 6.	Reititys maanantai 16.2.2015.....	34
Taulukko 7.	Kehitysehdotukset .....	41

# 1 JOHDANTO

Kuljetusten optimoinnista on puhuttu jo vuosikymmeniä, mutta vasta viimeaikainen tietotekniikan kehittyminen on mahdollistanut oikean elämän kuljetusongelmien ratkaisemisen tehokkaasti ja nopeasti (Silvasti & Asikainen 2014, 30). Kuljetusten optimointi mahdollistaa suurtenkin kustannussäästöjen aikaansaamisen, jolloin optimointia käyttävät yritykset saavuttavat merkittävää etua kilpailijoihinsa nähden. Markkinoille on viime vuosina syntynyt monia optimointipalveluja, yhtenä niistä Silvasti Softwaren kehittämä toiminnanohjausjärjestelmä LogiApps.

Opinnäytetyön raportti koostuu kahdesta osiosta. Työn teoriaosuudessa käsitellään optimoinnin teoriaa erilaisten kuljetusongelmien ja niiden ratkaisumenetelmien kautta. Lisäksi käsitellään kuljetusten suunnitteluun liittyviä tekijöitä sekä pienpakettien jakelun erikoisominaisuuksia verrattuna muihin maantiekuljetuksiin. Työn tutkimusosassa tutkitaan LogiAppsien optimointipalvelun toimintaa pienpakettien jakelussa.

Opinnäytetyön tutkimusosion tavoitteena on tutkia LogiApps- toiminnanohjausjärjestelmän optimointiosion kykyä laatia jakelujen ja noutojen reititys pienpakettien kuljetusten suunnittelussa. Kyvyn arviointi perustuu kirjallisuustietoon pohjautuvaan teoriaan sekä erään toisen optimointiohjelman ominaisuuksiin käyttökokemusten kautta. Työn toisena tavoitteena on tutkia, kuinka suuri hyöty LogiAppsien optimointipalvelulla suoritettulla reittisuunnittelulla on mahdollista saavuttaa, kun sitä verrataan ihmisen käsin laatimaan reittisuunnitelmaan.

Tehtävä opinnäytetyö auttaa LogiAppsien kehitystyötä optimointisovelluksen kehittämisen kannalta. Työn tutkimusosio tehdään Silvasti Softwaren asiakasyrityksen Kuljetusyritys X:n toiminnan pohjalta. Tutkittavan yrityksen toiminta pienpakettien jakelussa tarjoaa erittäin haastavan toimintaympäristön optimointipalvelun testaamiselle ja kehittämiseksi. Opinnäytetyö tarjoaa hyötyjä kaikille siihen osallistuville osapuolille, Silvasti Softwarelle ohjelmiston kehittämiseen ja markkinointiin sekä Kuljetusyritys X:lle mahdollisuuden saavuttaa säästöjä toimintaansa paremman reittisuunnittelun avulla.

## 2 SILVASTI SOFTWARE OY

Silvasti Software Oy on Jyväskylässä toimiva yritys, jonka toimialana on ohjelmistojen suunnittelu ja valmistus. Silvasti Software perustettiin vuonna 2008, kun yrityksen perustaja Panu Silvasti ohjelmoi toiminnanohjausjärjestelmän erikoiskuljetuksia tarjoavaan perheyritykseen Ville Silvasti Oy:hyn. Tällöin syntyi myös ensimmäinen versio Silvasti Softwaren tarjoamasta toiminnanohjausjärjestelmä LogiAppsista. Pian tämän jälkeen saatiin myös ensimmäiset ulkopuoliset asiakkaat. Vuodesta 2008 lähtien yrityksen liikevaihto ja asiakasmäärä ovat kasvaneet tasaisesti. Yrityksen perustajan Panu Silvastin lisäksi LogiAppsien tuotekehityksen parissa työskentelee tällä hetkellä kaksi täysipäiväistä työntekijää.

LogiApps on toiminnanohjausjärjestelmä, joka soveltuu kuljetusliikkeiden lisäksi myös liikkuvan työn ohjaamiseen sekä julkisen sektorin logistiikkaan. Tällaisia toimialoja ovat esimerkiksi huolto- ja asennusyritykset sekä kotihoidon toiminnanohjaus. Kuljetusliikkeille LogiApps tarjoaa työkalut tilausten hallintaan, ajojärjestelyyn, laskutukseen, ajoneuvo- ja työaikaseurantaan, laatujärjestelmiin, raportointiin sekä kuljetusten optimointiin. LogiApps toimii pilvipalveluna, jolloin erillistä ohjelmiston asennusta tietokoneelle ei tarvita, vaan LogiAppsia voidaan käyttää lähes missä tahansa, kunhan yhteys internettiin on saatavissa. Tärkeässä roolissa LogiAppsissa on myös kuljettajan mobiilisovellus, joka toimii Android-mobiililaitteissa. Ajojärjestely voi välittää uudet kuljetustilaukset reaaliaikaisesti suoraan kuljettajan mobiilisovellukseen. Sovelluksen avulla voidaan tehdä myös työaikakirjauksia ja raportoida poikkeustapauksia. Kuljettajan toimintaa reitillä helpottaa myös sovelluksen mahdollistama Googlen kartta- ja navigointipalvelun käyttö. (LogiApps toiminnanohjaus. n.d.)

### 3 OPTIMOINTI

Operaatioanalyysi (Operations Research) on aikojen saatossa määritelty lukuisilla eri tavoilla. Esimerkiksi P.M.S. Blacket (1948) määritteli operaatioanalyysin tieteelliseksi keinoksi tarjota päättäjille analyttistä ja objektiivista tietoa päätöksenteon tueksi. Operaatioanalyysin voidaan katsoa saaneen alkunsa Britanniasta toisen maailmansodan aikana, jolloin tiedemiehet työskentelivät armeijan hyväksi niukkojen resurssien mahdollisimman tehokkaan käytön takaamiseksi. Toisen maailmansodan jälkeen operaatioanalyysi levisi myös muihin käyttötarkoituksiin. (Mishra & Agarwal 2009, 1–2)

Operaatioanalyysi käsittää lukuisia keinoja erilaisten ongelmien ratkaisemiseksi. Operaatioanalyysissä ongelmanratkaisuun käytettyjä keinoja ovat muun muassa lineaarinen ja epälineaarinen ohjelmointi, simulaatio sekä jono- ja peliteoria.

Lineaarinen ohjelmointi on yksi yleisimmistä käytössä olevista keinoista ongelman ratkaisuun. Lineaarisuus kuvaa ongelman muuttujien suhdetta toisiinsa, kun taas ohjelmoinnilla viitataan toimintasuunnitelman tai töiden suunnitteluun. Lineaarisen optimoinnin käyttökohteita ovat kulujen minimointi tai vastaavasti tuottojen maksimointi. (Mishra & Agarwal 2009, 13–14)

Olli Bräysy (2007, 6) puolestaan määrittelee optimoinnin parhaimman ratkaisun tai toimintaperiaatteen etsimiseksi ja löytämiseksi. Määrittely on hyvin vastaava operaatioanalyysin määritelmän kanssa ja optimointi käyttää hyväkseen operaatioanalyysin alaisia ratkaisukeinoja.

Seuraavissa luvuissa on käsitelty tämän opinnäytetyön kannalta merkittäviä kuljetusten optimointiin liittyviä kuljetusongelmia. Lisäksi käsitellään niiden ratkaisumenetelmiä sekä reittioptimoinnilla saavutettavia hyötyjä.

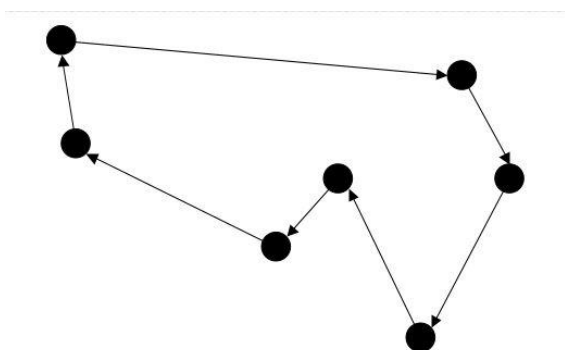
#### 3.1 Kuljetusongelmat

##### 3.1.1 Kauppamatkustajan ongelma

Kauppamatkustajan ongelma (englanniksi *Traveling Salesman Problem, TSP*) on reittioptimoinnin perinteisimpiä ongelmia. Kauppamatkustajan ongelmassa



kauppiaan täytyy muodostaa paras reitti asiakaskohteiden välille, joissa jokaisessa käydään vain kerran, ja palata sen jälkeen takaisin lähtöpisteeseensä. (Puranen 2011, 33). Ongelma on kuvattu kuviossa 1. Vaikka ongelman määrittely on hyvin yksinkertainen, on kauppamatkustajan ongelman ratkaiseminen osoittautunut haastavaksi tehtäväksi, jolle löytyy optimaalinen ratkaisu nopeasti vain tapauksissa, joissa asiakaskohteita on todella vähän. Ongelmaan ei ole löytynyt polynomi aikaista ratkaisualgoritmia, joka mahdollistaisi suurempien ongelmien ratkaisemisen järkevässä ajassa. Ongelman ratkaisualgoritmia pidetään tehokkaana, jos ratkaisuun kulunut aika voidaan esittää polynomifunktiona ratkaistun ongelman koon suhteen (Reinikainen ym. 2002, 36). Kauppamatkustajan ongelma on optimointiongelma, joka on luokiteltu NP-kovaksi (*Nondeterministic Polynomial time-hard*) (Euchi 2012, 11).



**Kuvio 1. Yksi mahdollinen reitti seitsemän kaupungin TSP:ssä (Euchi 2012, 12)**

Kauppamatkustajan ongelma jaetaan symmetrisiin- ja epäsymmetrisiin ongelmiin. Symmetrisessä ongelmassa kahden kaupungin välinen etäisyys on aina yhtä suuri, riippumatta siitä kumpaan suuntaan reittiä kuljetaan. Epäsymmetrisessä ongelmassa pisteiden A ja B välinen matka ei ole sama kuin pisteiden B ja A välinen matka. (Reinikainen ym. 2002, 36)

Kauppamatkustajan ongelman koko kasvaa siis hyvin nopeasti reittipisteiden lisääntyessä. Epäsymmetrisessä kauppamatkustajan ongelmassa eri ratkaisuvaihtoehtoja on  $(n-1)!$ , jossa  $n$  kuvaa reittipisteiden lukumäärää (Reinikainen ym.

2002, 36). Symmetrisessä kauppamatkustajan ongelmassa ratkaisujen lukumäärä on puolet vastaavan kokoisen ei-symmetrisen ongelman lukumäärästä, sillä reitit voidaan kulkea molempiin suuntiin niiden pituuksien pysyessä samoina. Symmetrisessä ongelmassa esimerkiksi terminaalien ja 10 reittipisteen ongelma tarkoittaa 1 814 400 erilaista ratkaisuvaihtoehtoa. Jos ongelman koko kasvaa vain hieman esimerkiksi 12 reittipisteeseen, on erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja jo yli 239,5 miljoonaa.

Huolimatta TSP:n yksinkertaisesta ongelmasta, se on silti perustana monen logistiikan optimointiin kehitetyn ratkaisun taustalla. Esimerkiksi kauppamatkustajan ongelman ratkaisemiseen kehitetyt menetelmät ovat suuressa roolissa määrittäessä yhden ajoneuvon optimaalista jakelureittiä tai määritettäessä optimaalista jakelureittiä alueittain. (Puranen 2011, 33)

### 3.1.2 Kiinalaisen postimiehen ongelma

Kiinalaisen postimiehen ongelman määritteli Guan (1962): ”Postimiehen täytyy hoitaa oman alueensa postinjakelu ennen palaamistaan postikonttorille, jolloin ongelmana on saada jakelu suoritettua mahdollisimman lyhyellä kävelymatkalla”. Kiinalaisen postimiehen ongelman tarkoituksena on siis määrittää lyhyin mahdollinen kävelymatka käyttäen kaikkia jakelualueen katuja vähintään kerran, jotta posti saadaan jaettua. Kiinalaisen postimiehen ongelma on kaari-reititysongelman eräs sovellutus (*Arc Routing Problem, ARP*), joita käytetään hyväksi ratkaistaessa reititysongelmia postinjakelussa, jätteenkeräyksessä ja lumen aurauksessa (Eiselt, Gendreau & Laporte, 1995, 231). Aikojen saatossa myös kiinalaisen postimiehen ongelmasta on esitetty lukuisia variaatioita. Eräs tärkeimmistä on ”maalaisen postimiehen ongelma” (*Rural Postman Problem, RPP*), jossa palvelua vaativat vain tietyt graafiin kuuluvat kadut, muiden ollessa käytettävissä siirtymiseen. RPP:n sovellutuskohteet löytyvätkin yleisesti harvaan asutulta alueilta (Ghiani, Laporte & Musmanno 2013, 404). Toinen, erityisesti lumien auraukseen, liittyvä variaatio on hierarkkinen postimiehen ongelma, jossa tietyt kaaret saavat korkeamman prioriteetin kuin toiset. Hierarkkisen postimiehen ongelmana on selvittää lyhin mahdollinen reitti, jossa korkeammalla prioriteetilla palveltavat kaaret hoidetaan ensin (Eiselt ym. 1995, 239–241).

### 3.1.3 Ajoneuvon reititysongelma

Ajoneuvon reititysongelma (*Vehicle Routing Problem, VRP* tai vaihtoehtoisesti *Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP*) on eräs tutkituimmista alueista optimoinnin saralla ja sen avulla voidaan ratkaista lukuisia reititysongelmia. Ongelman määrittivät ensimmäistä kertaa Dantzig ja Ramser (1959) pohtiessaan tehokkainta mahdollista tapaa suorittaa polttoaineen jakelu bensa-asemille yhdeltä polttoainevarastolta montaa ajoneuvoa hyväksikäyttäen (Puranen 2011, 35–36; Kumar & Panneerselvam 2012, 66).

VRP on kauppamatkustajan tai postimiehen ongelman yleistys, riippuen siitä ovatko palveltavat kohteet määritetty pisteinä (solmuina) tai kaarina (Ghiani ym. 2013, 359). Ajoneuvon reititysongelmassa kauppamatkustajia tai ajoneuvoja on kuitenkin reititettävänä enemmän kuin yksi kappale. Kaikki reititettävät ajoneuvot ovat samanlaisia ja niille on määritetty jokin kapasiteetti. Lisäksi jokainen reititettävä ajoneuvo lähtee ja palaa takaisin reitin suoritettuaan samaan pisteeseen (Puranen 2011, 35). VRP voidaankin määritellä ongelmaksi, jonka tarkoituksena on suunnitella mahdollisimman kustannustehokkaat jakelureitit niin, ettei yhtään asetettua rajoitetta tai kapasiteettia rikota ja kaikkia asiakkaita palvellaan vain kerran (Kumar & Panneerselvam 2012, 66).

Ajoneuvon reititysongelma luokitellaan ns. NP-vaikeaksi ongelmaksi, jolloin sen ratkaiseminen järkevässä ajassa on erittäin vaikeaa. Ongelmaan on kuitenkin vuosien saatossa kehitetty lukuisia erilaisia ratkaisumalleja. Tänä päivänä tarakoilla ratkaisumenetelmillä pystytään ratkaisemaan 50–100 asiakkaan ongelmia. (Kumar & Panneerselvam 2012, 66)

### 3.1.4 Ajoneuvon reititysongelman variaatiot

50 vuoden tutkimus- ja kehitystyön aikana Dantzigin ja Ramserin kehittämästä ajoneuvon reititysongelmasta on luotu lukuisia eri variaatioita, jolloin ongelmaa on saatu kuvaamaan paremmin todellisen elämän ajojärjestelyn ongelmia. Tässä alaluvussa esitellään muutamia merkittäviä variaatioita ajoneuvon reititysongelmasta.

Ajoneuvon reititystehtävä aikaikkunoilla (*Vehicle Routing Problem with Time Windows, VRPTW*) on ongelma, jossa jokaiselle asiakkaalle on määritetty tietty aikaikkuna, jossa palvelun tulee tapahtua. Tavoitteena on jälleen etsiä tehokkain mahdollinen reitti niin, ettei ajoneuvon kapasiteettirajoitteita tai aikaikkunoita rikota. Aikaikkunoilla rajoitetaan auton myöhäisintä saapumisaikaa asiakaskohteeseen. Toisaalta, jos ajoneuvo saapuu kohteeseen ennen aikaikkunan avautumista, se joutuu odottamaan sen aukeamista ennen palvelun aloittamista. Ongelmaa voidaan muokata lisää määrittämällä joitain aikaikkunoita pehmeiksi, jolloin niiden rikkominen on mahdollista tiettyjen rajoitusten puitteissa tai mahdollistamalla yhdelle asiakkaalle useita aikaikkunoita (Kumar & Panneerselvam 2012, 66; Puranen 2011, 43). Tyypillisiä sovelluksia aikaikkunarajoitteisille tehtäville ovat esimerkiksi kotihoidon suorittamat lounaskuljetuksen vanhuksille (Puranen 2011, 43).

”Normaali” VRP käsittelee vain joko nouto- tai jakeluliikennettä, muttei molempia. Ajoneuvon reititysongelma paluukuormilla (*Vehicle Routing Problem with Backhauls, VRPB*) ottaa huomioon yleisen tilanteen tosielämästä, jossa sekä noutoja että jakeluja tehdään samalla ajoneuvolla. VRPB:n rajoituksena kuitenkin on, että kaikki jakelu tulee suorittaa ennen noutojen lastaamista, eikä ajoneuvolle suunniteltu reitti saa sisältää pelkästään paluukuormien ajamista (Ghiani ym. 2013, 361). VRPB:n kehittyneemmässä mallissa nouto- ja jakotapahtumia voidaan tehdä missä järjestyksessä tahansa ajoneuvon rajoitteet huomioiden, jolloin puhutaan noudon ja jakelun ongelmasta (*Pickup and Delivery Problem, PDP*) (Puranen 2011, 36–38).

Tyypillisessä perinteisessä ajoneuvon reititysongelmassa suunnittelu tehdään päiväksi kerrallaan ja jokaista autoa voidaan käyttää vain kerran päivän aikana. Periodinen reititystehtävä (*Periodic VRP*) laajentaa päivän suunnittelujaksoa pidemmäksi ajaksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jokaiselle asiakkaalle määritellään tietyt vierailupäivät. Tyypillisimpiä ongelmia periodiselle reititysongelmalle ovat esimerkiksi jätteenkeräys- tai huoltoaikataulujen suunnittelu. (Puranen 2011, 50)

Ajoneuvojen stokastisessa reititystehtävässä (*Stochastic VRP*) ongelmana on ajoneuvojen reitittämisen lisäksi jokin satunnainen muuttuja. Satunnaisuutta saattaa esiintyä esimerkiksi asiakkaiden kysynnässä tai ajo- ja palveluaikojen muutoksissa (Puranen 2011, 51). Todellisessa elämässä stokastisuutta esiintyy käytännössä aina ja ajojärjestely onkin luonteeltaan dynaamista, jolloin ajoneuvon reittiä voidaan muuttaa sen ollessa jo lähtenyt ajokierrokselleen.

Reaaliaikaisessa ajoneuvon reititystehtävässä epävarmuustekijät paljastuvat vähitellen työn edetessä ja reitit rakennetaan jatkuvasti uudelleen uusien palvelupyyntöjen saapuessa. Tällaisia pyyntöjä ovat esimerkiksi uuden asiakastilauksen saapuminen, ajoneuvon saapuminen määränpäähän tai muutokset matka-ajoissa. Erityisesti pienpakettien jakelussa monia tärkeitä päätöksiä täytyy pystyä tekemään reaaliajassa uusien noutopyyntöjen saapuessa pitkin päivää. Huomionarvoista on, että teoriassa jokaisen ajoneuvon tarvitsee tietää vain seuraava asiakaskohteensa. Reaaliaikainen reititysongelma mahdollistaakin lukuisia variaatioita reittiin auton jo ollessa liikkeellä, pääasiassa modernien paikannusteknologioiden avustama. Reaaliaikaisella reititysongelmalla pyritään yleensä minimoimaan reitityskustannuksia. Toisaalta, toimialasta riippuen, joskus on tärkeämpää saavuttaa mahdollisimman lyhyt vasteaika asiakastilaukseen, kuten esimerkiksi tilanne on hälytysajoneuvojen kohdalla. Reaaliaikaisen reititysongelman avulla pyritään myös selvittämään reititystä, jolla maksimoidaan odotettujen asiakastilausten käsittely tietyssä ajanjaksossa. (Ghiani ym. 2013, 410–412)

## **3.2 Ratkaisumenetelmät**

### **3.2.1 Tarkat menetelmät**

Tarkoilla menetelmillä tarkoitetaan optimointiongelmiin ratkaisumenetelmiä, jotka löytävät varmasti ongelmaan optimaalisen ratkaisun loputtomassa ajassa, jos sellainen ylipäätään on olemassa. (Puranen 2011, 65)

Eräs kuljetusongelmien ratkaisuun käytettävä tarkka ratkaisualgoritmi on haa-raudu- ja rajoita (*Branch & Bound*). Algoritmi muodostaa ratkaistavasta ongelmasta puu-rakenteen, jossa ongelma jaetaan pienempiin osa-ongelmiin. Jokainen osa-ongelma ratkaistaan itsenäisesti. (Puranen 2011, 65)

Johtuen kuljetusongelmien suuresta koosta, niiden ratkaiseminen todellisessa tilanteessa käyttäen hyödyksi tarkkoja menetelmiä ei ole järkevää käytössä olevan ajan vuoksi. Ongelmien ratkaisuun onkin kehitetty heuristisia menetelmiä, joilla hyvä lopputulos saadaan huomattavasti nopeammin.

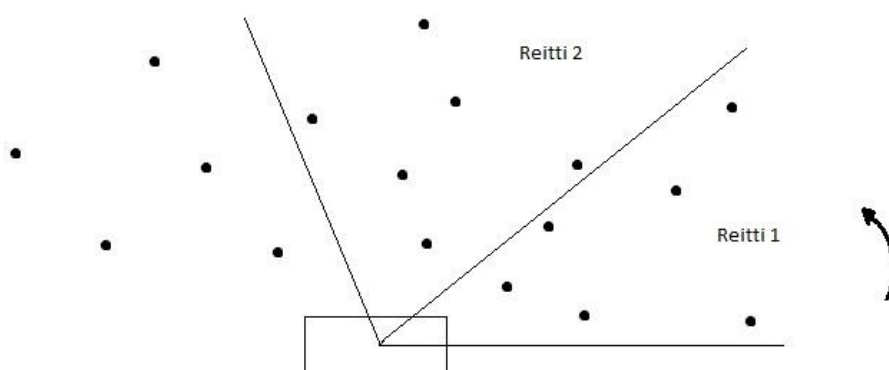
### 3.2.2 Heuristiset menetelmät

Heuristisilla menetelmillä tarkoitetaan sellaisia ratkaisumenetelmiä, jotka eivät varmuudella löydä optimaalista ratkaisua (Puranen 2011, 67), vaan ne valitsevat useista vaihtoehdoista sopivimman, jolloin ratkaisuaika lyhenee merkittävästi verrattuna tarkkoihin menetelmiin. Heuristisen menetelmän valitsema ratkaisu on usein jokin paikallinen optimi, muttei välttämättä koko ongelman optimaalisin ratkaisuvaihtoehto (Reinikainen ym. 2002, 38). Voidaankin siis todeta, että heuristisen algoritmin antama ratkaisu ongelmaan on vain ”hyvä arvio”. Heuristiset menetelmät voidaan Reinikaisen ja muiden (2002) mukaan jakaa kolmeen eri luokkaan: rakentaviin, ratkaisua parantaviin sekä ns. 2-vaihe-algoritmeihin.

Rakentavat menetelmät aloittavat yleensä tyhjästä ratkaisusta ja lisäävät pisteitä reitille kunnes kaikki ongelman pisteet ovat reititetty (Puranen 2011, 67). Reinikaisen ja muiden (2002, 38) mukaan rakentava algoritmi sisältää yleisesti kolme heuristista periaatetta: Aloituspisteen tai –piirin valinnan, seuraavan pisteen valitsemisen kriteerit sekä kriteerit uuden pisteen sijoittamiseen reitillä. Eräs yksinkertaisimmista rakentavista algoritmeista, jota voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi ratkaistaessa kauppamatkustajan ongelmaa, on lähin naapuri-menetelmä. Menetelmässä aloitetaan mielivaltaisesta pisteestä ja lisätään reittiin aina sen viimeisintä pistettä lähinnä oleva piste. Lopuksi palataan takaisin lähtöpisteeseen. Ajoneuvon reitittämisen kannalta yksi tunnetuimmista heuristiikoista on Clarken ja Whiten esittelemä Säästö-heuristiikka (Puranen 2011, 67). Säästö-heuristiikassa jokaiselle asiakkaalle luodaan ensin täysin oma reittinsä, jonka jälkeen heuristiikka yrittää yhdistää reittejä saavuttaakseen kustannussäästöjä. Säästö-heuristiikka on erittäin nopea, mutta sillä saatavat ratkaisut ovat kuitenkin usein 5–20 % päässä optimiratkaisusta. (Ghiani ym. 2013, 388)

Ratkaisua parantavat menetelmät saavat aloitustiedokseen jonkin ratkaisun ja yrittävät sen jälkeen nimensä mukaisesti parantaa ratkaisua reittiä muuttamalla. Jos muokattu ratkaisu on parempi kuin alkuperäinen, siitä tulee uusi aloitusratkaisu ja algoritmi alkaa alusta. Kiertoa jatketaan niin kauan, kunnes reittiä muokkaamalla ei enää saavuteta parannusta tulokseen tai saavutetut säästöt ovat hyvin pieniä. Tällöin saavutetaan paikallinen optimi, jota algoritmi ei enää pysty parantamaan. (Reinikainen ym. 2002, 42)

2-vaiheisissa heuristiikoissa ongelman ratkaisu on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa asiakkaat klusteroidaan eli jaetaan pienempiin osajoukkoihin. Jokainen osajoukko kuvaa reittiä, jolle on määritelty yksi auto. Toisessa osiossa jokaisen osajoukon eli reitin ajojärjestys ratkaistaan joko heuristisesti tai tarkkoilla menetelmillä (Ghiani ym. 2013, 387). Yksi tunnetuimmista ja ensimmäisistä 2-vaihe-heuristiikoista on Wren ja Hollidayn kehittämä Pyyhkäisy-algoritmi. Algoritmi jakaa asiakkaita reitille niiden kulman mukaan varikolta katsottuna, kunnes reitille määritetyn ajoneuvon kapasiteetti on täynnä. Pyyhkäisy-algoritmin reitinmuodostus on kuvattu kuviossa 2. Tämän jälkeen jokaisen reitin ajojärjestys määritetään käyttämällä kauppamatkustajan ongelmaan soveltuvaa tarkkaa tai heuristista ratkaisumenetelmää (Han & Tabata 2002, 410–411).



Kuvio 2. Pyyhkäisy-algoritmin toimintaperiaate (muokattu Han & Tabata 2002, 411)

Nykyisten standardien mukaan yksin heuristiikoilla saadut ratkaisut eivät ole riittävän tarkkoja, vaan niitä käytetään hyödyksi osana parempia ratkaisukeinoja. Tällöin puhutaan metaheuristiikoista. (Puranen 2011, 67)

### 3.2.3 Metaheuristiikka

Metaheuristiikkojen toimintaperiaatteena on ohjata erilaisten strategioiden avulla ratkaisua hakevia algoritmeja esimerkiksi tarjoamalla niille vaihtoehtoja paikallisesta optimista poispääsemiseksi. Pääasiassa metaheuristiikat ohjaavat algoritmeja tietyille ratkaisualueille, josta heuristiikat etsivät ratkaisua ongelmaan. Metaheuristiset menetelmät ovat heuristiikkojen tapaan arvioivia ratkaisumenetelmiä, jotka tarjoavat hyviä ratkaisuja ongelmaan hyväksyttävissä olevassa ajassa. Kuten heuristiikat, myöskään metaheuristiikat eivät kuitenkaan takaa ratkaisun olevan optimaalisin vaihtoehto. (Puranen 2011, 68)

Tabu-etsintä (Tabu-search) on yksi metaheuristisista menetelmistä. Se käyttää hyväkseen ratkaisua parantavaa local search-menetelmää, joka muuttaa ratkaisua aina, jos parempi vaihtoehto löytyy tutkittavasta ratkaisuavaruudesta. Ratkaisua parantavien menetelmien ongelman, paikalliseen optimiin juuttumisen, tabu-etsintä ratkaisee hyväksymällä tietyin ehdoin myös ratkaisua huonontavia siirtoja. Jotta algoritmi välttää ratkaisun edestakaisin kierrättämisen ja päätyminen takaisin samaan paikalliseen optimiin, tietoa edeltäneistä siirroista tallennetaan niin sanotulle tabu-listalle, jolloin ne ovat kiellettyjä siirtoja seuraavien laskentakertojen ajan. Esimerkiksi jos asiakas on siirretty reitiltä 1 reitille 2, on asiakkaan siirtäminen takaisin reitille 1 kiellettyä tabu-listalle määritettyjen laskentakertojen ajan. Laskentakertojen jälkeen tabu-listalla olevat siirrot vapautuvat vuorollaan taas algoritmin käytettäviksi. (Ghiani ym. 2013, 397; Puranen 2011, 72–73)

Osa metaheuristista optimointimenetelmistä ottaa mallia luonnon käyttäytymisestä. Muurahaisyhdyskuntaoptimointi (Ant Colony Optimization, ACO) perustuu oikeiden muurahaisten kykyyn löytää mahdollisista reiteistä lyhyin kulkiessaan pesältä ruuan lähteelle. Kulkiessaan muurahaiset kommunikoivat keskenään jät-



tämällä jälkeensä feromonijälkeä, jota toiset muurahaiset seuraavat tietyllä todennäköisyydellä. Pesältä lähdettäessä lyhimmän reitin valinneet muurahaiset saapuvat ruuan lähteelle ensin ja palaavat takaisin. Pidemmät reitin kulkeneet muurahaiset saapuvat ruuan lähteelle jäljessä, jolloin osa lyhemmän reitin kulkevista on jo lähtenyt palaamaan takaisin pesälle. Tällöin pidemmän reitin kulkeneet muurahaiset valitsevat todennäköisesti lyhemmän reitin takaisin, sillä lyhemmän reitin feromonikonsentraatio on korkeampi useamman muurahaisen lähdettyä kulkemaan sitä pitkin takaisin. (Euchi 2012, 94–95)

Algoritmin toimimiseksi muurahaisia on kuitenkin paranneltu. Muurahaisille on annettu muisti, johon pystytään tallentamaan tietoa kohteiden etäisyyksistä sekä viimeisimmistä siirroista. Käytettäessä ACOa reititysongelmien ratkaisuun jokainen muurahainen kuvaa ajoneuvoa, jolle on määritetty kapasiteetti. Asiakkaiden määrittäminen reiteille tapahtuu muurahaisen kulkiessa asiakkaalta toiselle ja paluu varikolle tapahtuu joko ajoneuvon kapasiteetin täytyttyä tai kun kaikki asiakkaat ovat reititetty. Asiakkaiden määräytymiseen reitille vaikuttavat sinne vievän polun feromonipitoisuus, satunnaisuus sekä mahdolliset heuristiset reitinparantamismenetelmät. (Bell & MacMullen 2004, 42–44)

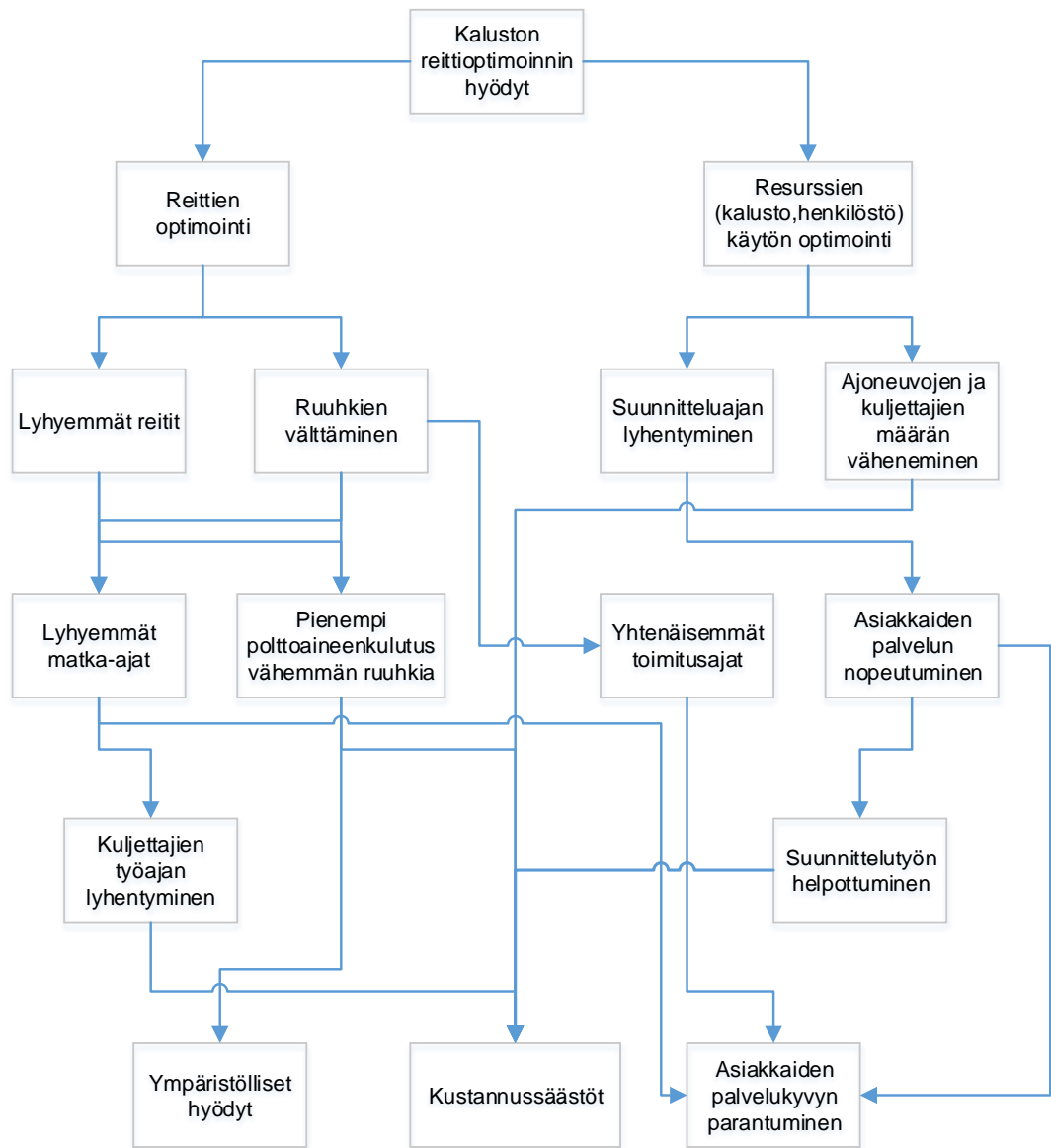
### 3.3 Reittioptimoinnin hyödyt

Optimointia hyväksikäyttämällä yritykset voivat säästää kustannuksissaan suunnittelun helpottuessa ja käytössä olevien resurssien käytön tehostuessa. Kuljetusyritykseen reittioptimointiohjelmiston hankkiminen on kannattavaa, jos yrityksellä on käytössään ajoneuvoja 10 tai enemmän. Ohjelmiston hankkiminen kannattaa myös, jos kuljetusyrityksen päivittäin suorittamien nouto- ja jakotilausten määrä ylittää 100 tapahtumaa. Kuitenkin Bräysyn (2007, 6) mukaan jo viiden ajoneuvon yrityksissä ihmisellä on vaikeuksia suorittaa ajoneuvojen reititys optimaalisesti. Jotta reittioptimoinnin tarjoamista hyödyistä saadaan kaikki irti, reittioptimointiohjelmisto on syytä integroida osaksi yrityksen muita tietojärjestelmiä kuten esimerkiksi laskutuksen kanssa. (Bräysy & Porkka 2007, 38)

Kuljetusyritysten kannalta tärkein optimoinnilla saavutettava hyöty ovat varmasti sillä saavutettavat kustannussäästöt. Eri tutkimusten mukaan optimoinnilla saavutettavat kustannussäästöt vaihtelevat toimialasta ja toiminnasta riippuen 5–60 %:n välillä. Esimerkiksi Itella saavutti omassa postinjakelureittien optimointiprojektissaan 3–15 %:n säästöt jakelureitistä riippuen (Esri Finland 2012, 9). Kustannussäästöt muodostuivat lyhemmistä jakelureiteistä. Ajetun matkan lyheneminen tarkoittaa yleensä pienempiä polttoainekustannuksia, kuljettajan työajan lyhenemistä, sekä pienempää kaluston kulumaa. Kuljetusyrityksen reittien uudelleen optimoinnilla voidaan myös pienentää tarvittavaa kaluston tai kuljettajien määrää sekä laskea työkustannuksia ylityötunteja vähentämällä. (Bräysy 2007, 12)

Optimoinnilla pystytään vaikuttamaan myös tänä päivänä yhä tärkeämmäksi muodostuviin kuljetusten ympäristövaikutuksiin. Euroopan Unioni on asettanut liikennesektorin tavoitteeksi kasvihuonepäästöjen vähentämisen vuoteen 2050 mennessä 60 %:iin vuoden 1990 tasosta (Tapio, Varho, Nygren, Järvi & Tuominen 2011, 2). Bräysyn ja Porkan (2007, 39) mukaan optimoinnilla saavutetaan merkittävin vähennys kuljetuksen ympäristövaikutuksiin jo kuljetuksen suunnitteluvaiheessa. Kuljetus, jota ei tarvitse tehdä esimerkiksi paremmin optimoitujen reittien ansiosta, on ympäristön kannalta huomattavasti parempi kuin ympäristöstävällisesti suoritettu kuljetus. Paremmalla reittioptimoinnilla saavutetaan-kin pienemmät pakokaasupäästöt sekä meluhaitat, jolloin reittioptimoinnista hyötyvät kuljetusyritysten lisäksi myös muut tieverkon käyttäjät.

Reittioptimoinnilla on mahdollista myös tuottaa parempaa ja luotettavampaa palvelua asiakkaille, reagoida nopeammin asiakkaan esittämiin toiveisiin sekä vähentää inhimillisten virheiden määrää. Optimoiduilla reiteillä on myös mahdollista parantaa kuljettajien viihtyvyyttä työajan tasapuolisemmalla jakautumisella ja toiveiden huomioon ottamisella. Reittioptimoinnin hyötyjä ja riippuvuutta toisistaan on kuvattu kuviossa 3.



**Kuvio 3. Optimoinnin hyödyt (Bräysy 2007, 11)**

Reittioptimoinnissa käytettävät ohjelmistot tarjoavat myös mahdollisuuden toteuttaa reitin analysointia sekä varasuunnitelmien luomista entä-jos-analyyssejä tekemällä. Ohjelmistot tarjoavat tietoa muutosten vaikutuksista konkreettisesti ja nopeasti, mikä jää usein ihmiseltä kynä ja paperi-menetelmällä huomaamatta.

## 4 KULJETUSTEN SUUNNITTELU JA OHJAUS

### 4.1 Suunnittelun tasot

Kuljetusten suunnittelu voidaan jakaa kolmeen osaan, jotka vastaavat eritasoisista ongelmista. Nämä tasot ovat strateginen, taktinen ja operatiivinen suunnittelu.

Kuljetusten strateginen suunnittelu pitää sisällään koko yrityksen kuljetustoiminnan. Strategisen suunnittelun päämääränä on määrittää kuljetusyrityksen toimintaan muun muassa varastojen ja terminaalien sijainti, eri yksiköiden toiminta-alueet, erilaisten kuljetusmuotojen välinen työnjako, suoriteala sekä yrityksen palvelutaso. Strateginen suunnittelu käsittelee kuljetuksia logistiikkaketjun osana ja hallitsee materiaalivirtoja valtakunnallisella tasolla. (Reinikainen, Mäntynen, Rantala & Viitanen 2002, 31)

Strateginen suunnittelu on pitkän aikavälin suunnitelmien luomista. Lyhyen aikavälin suunnitelmista puhuttaessa tarkoitetaan yleensä alle yhden vuoden ajanjaksolle tehtyä suunnitelmaa. Keskipitkän aikavälin strateginen suunnitelma tehdään 1–3 vuoden ajanjaksolle ja pitkän aikavälin strategia 3–5 vuoden jaksolle. (Pöllänen, Mäntynen & Laitinen 2007, 84)

Suurten logistiikkayritysten strategiat liittyvät yleensä laatuun ja verkostoitumiseen. Tärkeänä osana strategiaa toimivat myös lisäarvopalvelut sekä kyky toimia mahdollisimman tehokkaasti omalla markkina-alueella. Kuljetusyritysten strategiat puolestaan usein miten keskittyvät yrityskohtaisen kysynnän turvaamiseen, mutta nykyisin kuljetusyritysten on omaksuttava suurten toimijoiden strategioita pysyäkseen mukana yhä kasvavassa kilpailussa. (Pöllänen ym. 2007, 85)

Kuljetusyritysten taktisella suunnittelulla pyritään vaikuttamaan yrityksen kuljetuskustannuksiin, kaluston määrään ja laatuun sekä kuljetuskapasiteettiin. Esi-merkkejä taktisesta suunnittelusta ovat esimerkiksi kapasiteettiongelmat, joilla tavoitellaan toiminnan maksimikapasiteettia kustannusten, palvelunopeuden tai tehokkuuden suhteen. Myös kalustonvalintaongelmat, joilla pyritään minimoi-

maan syntyneitä kuljetuskustannuksia pitäen kuitenkin suunnitellun asiakaspalvelutason, kuuluvat taktisen suunnittelun piiriin. (Reinikainen ym. 2002, 32; Kasilingam 1998, 173)

Suunnitteluketjun viimeisenä lenkkinä toimii operatiivinen suunnittelu, joka pitää sisällään kuljetusreittien sekä kuormien suunnittelun. Operatiivisen suunnittelun aikajänne on usein hyvin lyhyt, sillä operatiivista suunnittelua voidaan tehdä päiväkohtaisesti tai jopa täysin reaaliaikaisesti. Suunnitelma luodaan esimerkiksi tilaustietokannasta muodostamalla kuorma- ja reittiehdotuksia. (Pöllänen ym. 2007, 85) Kuljetusten suunnittelu perustuu Reinikaisen ja muiden (2002, 115) mukaan seuraavien kysymysten selvittämiseen:

- Mitä kuljetetaan (paino, tilavuus jne.)?
- Mitkä ovat osapuolet (lähettäjä, vastaanottaja, huolitsija jne.)?
- Mistä-Mihin?
- Miten (käsittelyohjeet)?
- Milloin (nouto- ja toimitusaika)?

Operatiivisen suunnittelun perustalta luodaan toimintasuunnitelma, joka pitää sisällään esimerkiksi seuraavan päivän suunnitellut kuljetukset ja ajoreitit. Operatiivinen suunnittelu toteutetaan usein kuljetusten ohjaus- ja ajojärjestelykeskuksissa ja siitä vastaa ajojärjestelijä. (Pöllänen ym. 2007, 85). Kun operatiivista suunnitelmaa aletaan toteuttaa, muodostuu ohjaustilanne. Kuljetustenohjauksella tarkoitetaan kuljetustoiminnan aikana tapahtuvaa tilanteen hallintaa ja reagointia muuttuviin olosuhteisiin. (Reinikainen ym. 2002, 31; Mäkelä & Mäntynen 1998, 140).

Kustannusten minimointi toimii myös tärkeänä osana kuljetusten operatiivista suunnittelua. Reinikaisen ja muiden (2002, 33–34) suoraan kustannuksiin liittyviä operatiivisia ongelmia ovat jakeluongelmat, reitinvalintaongelmat sekä jakelutoiminnan ongelmat. Jakeluongelmissa pyritään minimoimaan kuljetuskustannuksia kiinteiden jakopisteiden välillä kaluston määrän ja kapasiteetin suhteen. Reitinvalintaongelmassa pyritään etsimään edullisinta tai vaihtoehtoisesti no-

peinta ajoreittiä. Jakelutoiminnan ongelmat keskittyvät kustannusten minimointiin esimerkiksi kuormia yhdistelemällä. Kuormien yhdistelyssä tulee huomioida kuorman lastaus- ja purkujärjestys sekä aikataululliset rajoitteet. Lisäksi kuormien yhdistelyä rajoittavat esimerkiksi vaarallisten aineiden kuormausrajoitukset.

Kasilingamin (1998, 177) mukaan Ballou (1992) on määritellyt hyvän ajojärjestelyn peruseriaatteet seuraavasti:

- Ajoneuvon pysähdysten määrittäminen lähekkäisille jako- tai noutotilauksille
- Jako- ja noutotapahtumien yhdistäminen
- Suurimman kapasiteetin omaavan ajoneuvon reitittäminen ensimmäisenä vajaakäytön minimoimiseksi
- Tiukkojen aika-ikkunoiden välttäminen, jos vain on mahdollista
- Vaihtoehtoisten toimitustapojen tutkiminen kaukaisille jako – tai noutopaikoille

Kuljetusten ohjausjärjestelmään voidaan katsoa kuuluvaksi myös seurantajärjestelmät. Seurantajärjestelmien avulla voidaan seurata toteutuneita tapahtumia ja arvoja esimerkiksi palvelutasosta, suoritteista sekä kustannuksista. Laaja seurantajärjestelmä edellyttää yleensä tietotekniikan hyväksikäyttöä. (Pöllänen ym. 2007, 85)

## 4.2 Telematiikka kuljetusten suunnittelun ja ohjauksen apuna

Liikenteen telematiikalla tarkoitetaan tekniikoita, joilla käsitellään ja kerätään tietoja ajoneuvoista ja liikenteestä. Kerättyjä tietoja hyödynnetään liikenteenohjauksessa, tiedottamisessa tai yksittäisten ajoneuvojen hallinnassa. (Hokkanen, Inkinen & Käenmäki 2010, 274). Teknologioiden hyödyntäminen tukee yrityksen toimintaprosesseja ja mahdollistaa niiden kehittämisen sekä täysin uusien prosessien syntymisen. Mitä suuremmasta kuljetusyrityksestä on kysymys, sitä tärkeämpää tietoteknisten sovellusten hyödyntäminen on (Pöllänen ym. 2007, 86).

Tavaraliikenteen osalta telematiikkaa käytetään hyödyksi rahdin ja kaluston hallinnassa, sähköisessä tunnistautumisessa sekä sähköisissä maksutapahtumajär-

jestelmissä (Hokkanen ym. 2010, 276). Kaluston hallinta on nousemassa tärkeäksi osaksi kuljetusyritysten tietoteknisiä järjestelmiä. Eri toimijoiden tarjoamat seurantasovellukset tarjoavat mahdollisuuden ajoneuvojen reaaliaikaiseen GPS-seurantaan, joka helpottaa esimerkiksi ajojärjestelyn tehtävää. Logistiikan nykyinen kehityssuunta varastojen ulkoistamisesta ja pienentämisestä lisää tarkkojen toimitusten merkitystä logistiikkaketjussa. Tällöin myös paikannustarve kasvaa, sillä asiakas haluaa kuljetusyritykseltä tarkkaa tietoa lastin nykyisestä olinpaikasta, erityisesti ongelmatilanteiden syntyessä. Muita tyypillisiä kohteita GPS-seurannan piirissä ovat esimerkiksi nopeasti muuttuvat kuriirikuljetukset, arvokuljetukset sekä erikoiskuljetukset. (Pöllänen ym. 2007, 88–89)

Ajoneuvojen dataväylät ja niiden seurantalaitteet (ns. ”Black Box”) mahdollistavat myös ajoneuvon huoltotarpeen ennakkoinnin, jonka avulla huoltokustannuksia pyritään minimoimaan. Kuljettajien ajotapaseuranta puolestaan leikkaa syntyneitä polttoainekustannuksia kannustamalla kuljettajia taloudellisempaan ajotapaan. (Pöllänen ym. 2007, 87)

Telematiikan avulla voidaan seurata myös reaaliaikaisesti tieolosuhteita niin valitsevan ajokelin, ruuhkien kuin onnettomuuksienkin osalta. Näin ajoneuvon suunniteltua reittiä voidaan muuttaa esimerkiksi kiertämään pahoin ruuhkautuneet tiet, jolloin matka-aika nopeutuu. Hyvästä tietelematiikan käytöstä hyötyvät sekä kuljetusliikkeet, jotka saavuttavat aikasäästöjä ruuhkaisia teitä kiertämällä sekä ruuhkautunut tieosuus, jonka ei tarvitse käsitellä jälleen uutta ajoneuvoa. (Hokkanen ym. 2010, 278; Pöllänen ym. 2007, 90)

Tiedonsiirto kuljetusten ohjaus- ja suunnittelutoimiston sekä ajoneuvon välillä suoritetaan usein miten ajoneuvopääteen tai matkapuhelimen avulla (Pöllänen ym. 2007, 89). Nykyiset nopeat ja kattavat langattomat verkkoyhteydet mahdollistavat suurienkin datamäärien siirron matkapuhelinverkkoa hyödyntäen.

Tietoa pystytään vaihtamaan myös kuljetusketjun eri toimijoiden välillä. Vuonna 1986 tehtiin päätös yhteisen maailmanlaajuisen EDIFACT-standardin luomiseksi, joka mahdollistaa helpon tiedonsiirron yritysten välillä. Organisaatioiden välinen tiedonsiirto (*OVT* tai *EDI*) mahdollistaa esimerkiksi kuljetustilauksen tekemisen

täysin sähköisesti kahden eri organisaation välillä, joka helpottaa ajojärjestelyn tehtävää. Kuljetusalalla yksi suurimmista EDI:n tuomista hyödyistä on ollut sähköiseen tuontitullaukseen siirtyminen, joka on vähentänyt tarvittavien dokumenttien määrää, nopeuttanut tullaustoimintaa sekä vähentänyt tullitoimipai-koissa asioimisen määrää. (Reinikainen ym. 2002, 116–120)

## **5 PIKARAHTI JA PIENPAKETTIENTEN JAKELU**

### **5.1 Maailmanlaajuiset pikarahtipalvelut**

Mäkelä, Mäntynen ja Vanhatalo (2005) määrittelevät pikarahdin kuljetuksiksi, joissa tavarankuljettaja on antanut asiakkaalle takuun tavarankuorittamisesta sovitussa ajassa, joka on lyhempi kuin muita kuljetusmuotoja käyttäen. Pikarahtipalveluita tuottavien yritysten ydinpalveluita ovat lento- ja maantiekuljetukset. Tarjottuihin palveluihin liittyvät olennaisesti myös noutopalvelut, vienti- ja tuontihuolto sekä toimituksen jakelu loppuasiakkaalle määränpäässä (Mäkelä ym. 2005, 94).

Pika- tai lentorahdin käyttöä tulee harkita, jos tuotteen arvo on sen painoon nähden suhteellisen korkea, kuten useat elektroniikkatuotteet. Lisäksi kiireelliset dokumentit luovat suuren käyttäjäkunnan pikarahtipalveluille (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 293). Pika- ja lentorahdia käytetään myös herkästi pilaantuvien tuotteiden kuljetukseen, joiden kuljettaminen toiselle puolella maapalloa ei olisi mahdollista muilla kuljetusmuodoilla tuotteen pilaantumatta. Esimerkiksi Finnair Cargon lentorahtipalvelut mahdollistavat norjalaisen lohien nopean kuljetuksen Aasian markkinoille (Ihanteellista lentorahdia 2007, 7). Tärkein ominaisuus pika- ja lentorahdin eduksi on sen nopeus. ”Aika on rahaa” on kulunut sanonta, mutta pitää täysin paikkansa esimerkiksi tehtaan tuotantolinjan odottaessa kriittistä varaosaa saapuvaksi toimittajalta toiselta puolelta maailmaa.



Suurten kansainvälisten pikarahtipalveluita tuottavien yhtiöiden toimintaperiaatteena on ns. suljettu järjestelmä, jossa pikarahtiyhtiö valvoo koko kuljetusketjun toimintaa. Usein tarjotut palvelut kattavat kaiken ”ovelta ovelle”. Yhtiön käyttävät palveluiden tuottamiseen omia työntekijöitä, jakelukeskuksia, lentokoneita sekä autoja (Mäkelä ym. 2005, 95). Syrjäisimmillä ja pienemmillä markkina-alueilla yhtiöt kuitenkin turvautuvat usein jakelutoiminnassaan alihankintaan, sillä oman palvelun ylläpitäminen kaikkialla ei olisi kannattavaa. Koska pikarahtiyhtiöt hallitsevat koko kuljetusketjua, pystyvät ne hallitsemaan suurta määrää dataa lukuisten eri lähetyksien tiedoista yhtenäisten tietojärjestelmien avulla, jolloin kuljetuksien suunnittelu ja ohjaus helpottuu (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 293).

Yhtiöiden kattavat ja nopeat toimitusverkot perustuvat pikarahdin osalta lentokuljetusten tehokkaaseen hyödyntämiseen. Toimintamallina pikarahtiyhtiöillä on ns. Hub and spoke-malli, jossa lentoyhteydet muodostavat polkupyörän napaa ja pinnoja muistuttavan verkoston (Mäkelä ym. 2005, 94). Lentorahtiliikenne lentoasemien välillä tapahtuu pääasiassa öisin. Esimerkiksi DHL:n pikarahtipalveluiden ”napa” Euroopassa sijaitsee Saksan Leipzigissa, johon saapuu joka yö noin 60 rahtilentokonetta ympäri maailmaa maa- tai muista aluekohtaisista terminaaleista. Massiivisessa jakelukeskuksessa koneet puretaan saapuvasta rahdistista, joka lajitellaan määräpaikkaan vieviin lentokoneisiin. Lastauksen jälkeen koneet palaavat aamun sarastaessa takaisin lähtöpaikkaansa (Leipzig Hub. n.d.). Suomessa DHL:n rahtikone lähtee Helsinki-Vantaan lentokentältä kohti jakelukeskusta ilta kymmenen jälkeen ja palaa takaisin Helsinkiin noin kello 7 seuraavana aamuna (DHL aikataulu, 2013). Helsingin terminaalista lähetykset jatkavat maanteitse kohti lopullista määränpäättään.

Maaailmanlaajuisesti pikarahtitoimintaa hallitsevat 4 suuryritystä: UPS, DHL, TNT ja FedEx. Toimijoista UPS ja FedEx ovat ottaneet päämarkkina-alueekseen Yhdysvallat, kun taas DHL ja TNT omaavat kattavammat toimitusverkot Euroopan alueella (Laitinen 2002, 51).

Alaa hallitsevat suuryritykset ovat todella suuria. Esimerkiksi vuonna 1907 perustetun UPS:n (United Parcel Service) liikevaihto oli vuonna 2013 yhtiön kaikkien yksiköiden osalta 55,4 miljardia dollaria, josta 75 % muodostui yhtiön toiminnasta sen päämarkkina-alueella Yhdysvalloissa. Yhtiö työllistää lähes 400 000 työntekijää, joista yli 300 000 toimii Yhdysvalloissa. Päivittäin UPS jakaa yli 16,9 miljoonaa pakettia ja dokumenttilähetystä. Jotta lähetysten jakaminen onnistuisi ympäri maailmaa, yhtiöllä on omistuksessaan lähes 100 000 jakeluajoneuvoa sekä 237 rahtilentokonetta. UPS:n palvelut kattavat yli 220 maata ja aluetta. (UPS Annual report 2013)

## 5.2 Pienpakettien jakelu

Pienpakettien jakelu tarjoaa monia erityisiä haasteita, joihin kuriiripalveluyrityksen täytyy pystyä vastamaan tehokkaasti. Haastavimpana tekijänä suunnittelun kannalta on reittien jatkuva muuttuminen, eikä yksikään vuoden aikana ajettu reitti saata olla samanlainen, jolloin vakituisten reittien muodostaminen kuljettajille on mahdotonta. Toinen ongelmia luova tekijä on toiminnan jatkuva dynaamisuus. Kuljettajan reittiä täytyy voida muuttaa auton jo lähdettyä terminaalilta. Muutoksia aiheuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi reaaliaikaisesti saapuvat noutopyynnot. (Ninikas, Athanasopoulos, Zeimpekis & Minis, 2014)

Pienpakettien jakelulle hyvin ominainen piirre on kiireellisyys. Kuljettajalla saat- ta olla vain pari tuntia aikaa saada reittinsä jaetuksi, jotta pikarahdin palvelulu- paus saadaan täytettyä ennen yritysten sulkemisaikaa. Parin tunnin jakolenkin aikana myös asiakaskäyntejä kertyy helposti useita kymmeniä.

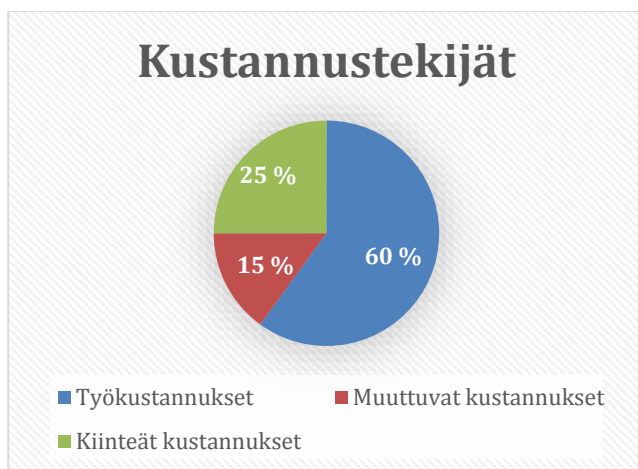
Tyypillisesti paikalliset kuriirikuljetukset ovat osa isompaa kuljetusketjua ja pit- kän kuljetusketjun loppuasiakkaalle ainut näkyvä osa. Esimerkiksi pikarahtiyri- tysten pienpakettijakelu hoidetaan alueellisesti, jolloin jaettavat lähetykset ja rei- tiltä saapuvat noudot lastataan ja puretaan alueelliseen terminaaliiin. Alueelli- sesta terminaalista päivällä haetut noudot siirretään runkokuljetuksena maan pääterminaaliiin, josta ne jatkavat lentokuljetuksena suuren pikarahtiyrityksen jakelukeskukseen. (Ninikas, Athanasopoulos, Zeimpekis & Minis, 2014)

2000-luvulta lähtien pakettilähetysten volyymit ovat kasvaneet Suomessa voimakkaasti. Kasvuun suurin syy on erityisesti verkkokaupan suosion voimakas kasvu, jonka odotetaan kasvavan yhä suuremmaksi myös tulevaisuudessa. Syitä pakettimarkkinan kasvamiseen ovat myös pakettipalvelujen käytön laajentuminen uusille toimialoille kuten esimerkiksi konepaja- ja tekstiiliteollisuuteen. Vuosien 2002 ja 2012 välillä pakettilähetysten vuosivolyymi Suomessa kasvoi noin 35 miljoonasta kappaleesta hieman yli 50 miljoonaan kappaleeseen. Näistä lähetyksistä noin 80 % pysyy maan rajojen sisäpuolella ja vain 20 % kaikista lähetyksistä lähtee ulkomailta tai lähetetään ulkomaille. Suomen sisäisiä markkinoita hallitsee Posti, mutta kansainvälisissä lähetyksissä suurimmat toimijat ovat DHL ja UPS. (Haataja & Passi 2013, 13–14)

Pienpakettien jakelussa yhden jakoreitin volyymi ei yleensä kasva kovin suureksi, jolloin raskaita kuorma-autoja ei tarvita. Pienpakettien jakelua suoritetaan joko N1-luokan pakettiautoilla, joiden suurin sallittu kokonaismassa on 3500 kg tai N2-luokan kevyillä kuorma-autoilla, joiden suurin sallittu kokonaismassa on 12 tonnia.

Kuorma- ja pakettiautojen kustannuslaskennassa ajoneuvojen kustannustekijät ryhmitellään kuljettajan työkustannuksiin, muuttuviin kustannuksiin ja kiinteisiin kustannuksiin. Kuljettajan työkustannukset koostuvat kuljettajan palkasta, välillisistä palkkakuluista sekä päivärahoista. Muuttuvat kustannukset koskevat ajoneuvoa ja niiden suuruus riippuu siitä, kuinka paljon autolla ajetaan. Muuttuvia kustannuksia ovat poltto- ja voiteluainekustannukset, lisäainekustannukset, huolto- ja korjauskustannukset sekä rengaskustannukset. Kiinteät kustannukset ovat myös ajoneuvosta riippuvia, mutteivät riipu ajoneuvolla ajetusta kilometrimäärästä. Kiinteisiin kustannuksiin luetaan kuuluvaksi pääomakustannukset kuten korot ja poistot, vakuutukset, ylläpito- ja hallinnointikustannukset sekä liikennöimismaksut. (Ajoneuvon kustannuslaskennan perusteet 2009, 4)

Pienpakettien jakelussa käytettävien ajoneuvojen suhteelliset kustannukset eroavat raskaista ajoneuvoista. Kuviossa 4. on esitetty pakettiautojen kustannustekijöiden keskinäinen jakautuminen.



**Kuvio 4. Pakettiautojen kustannustekijät (Pöllänen 2007, 95)**

Kuten kuviosta huomataan, pakettiautojen kustannusrakenne koostuu pääasiassa työkustannuksista, jotka ovat 60 % kaikista kustannuksista. Kiinteät kulut ovat pakettiautolle neljänneksen kaikista kuluista ja muuttuvien kustannusten osuudeksi jää 15 %. Ajoneuvon koon kasvaessa erityisesti muuttuvat kustannukset kasvavat polttoaineen kulutuksen kasvaessa (Pöllänen 2007, 95). Suurin säästöpotentiaali pienpakettien jakelussa on mahdollista saada kuljettajan työaikaa pienentämällä, mutta käytännössä tämä ei useinkaan ole suoraan mahdollista, vaan työajan lyheneminen on saavutettu esimerkiksi paremmalla reittisuunnittelulla, joka pienentää myös muuttuvia kustannuksia.

## 6 CASE: KULJETUSYRITYS X

Työn käytännön osuutena toteutettiin tutkimus optimointipalvelun toimivuudesta pienpakettien jakelussa. Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Silvasti Softwaren asiakasyrityksen Kuljetusyritys X:n kanssa, jolloin tutkittavana olivat yrityksen pikarahtipalvelut Jyväskylän alueella.

### 6.1 Kuljetusyritys X

Asiakasyrityksen lyhyt yritysesittely on poistettu julkisesta opinnäytetyöstä luotamuksellisuuden vuoksi.

### 6.2 Tutkimuksen menetelmät

Työn käytännönosuuden tekeminen aloitettiin jo marraskuussa 2014 tutustumalla Silvasti Softwaren kehittämään LogiApps-toiminnanohjausjärjestelmään sekä erityisesti LogiApps:n sisältämään optimointipalveluun. Optimointipalvelua testattiin viikoittain erilaisilla kuljetustiedoilla, jotta palvelun tarjoamat ominaisuudet, mahdollisuudet sekä rajoitteet olisivat opinnäytetyön tekijän tiedossa varsinaisen opinnäytetyön teon alkaessa.

Tutkimuksen toteuttamiseen tarvittiin dataa asiakaspysähdyksistä eli stopeista, jotka voivat olla nouto- tai jakelutapahtumia. Dataa saatiin kerättyä Kuljetusyritys X:n tietojärjestelmästä suoraan Excel-taulukkomuodossa, jolloin virheitä mahdollisesti aiheuttava tietojen käsin kerääminen paperille saatiin minimoitua. Kerätty data sisälsi lähetyksen vastaanottajan nimen, katuosoitteen, postinumeron sekä postitoimipaikan. Lisäksi kerättiin tietoa toimitettavien kollien määrästä ja painosta sekä siitä, onko toimituksen vastaanottaja yksityinen henkilö vai yritys. Kerätty data sisälsi myös aikaikkunan, jossa lähetyksen toimittamista tai noutamista voidaan yrittää, mikäli asiakkaan kanssa sellainen oli sovittu etukäteen. Myös tieto, millä autolla tilaus ajettiin, oli saatavilla.

Kuljetusyritys X:n toimintaan tutustuttiin myös vierailemalla yrityksen terminaalilla. Terminaalilla tutustuttiin havainnoimalla prosesseihin, jotka liittyivät ajojärjestelyyn, kuljettajan omaan reittisuunnitteluun sekä saapuvien pakettien lajitteluun ja lastaamiseen autoihin. Lisäksi tietoa kerättiin haastatteleamalla Kuljetusyritys X:n toimitusjohtajaa, ajojärjestelijöitä sekä yrityksen kuljettajia. Kuljettajien ammattitaitoa ja reittituntemusta käytettiin hyväksi esimerkiksi määritettäessä optimointiohjelmaan joiltain osin yritysten aukioloaikoja, joina lähetyksiä voi yrittää toimittaa.

LogiApps mahdollistaa autojen GPS-seurannan, jota päätettiin käyttää hyväksi niiden autojen osalta, joihin GPS-seurannan mahdollistava Applicomin telematiikkalaitteisto oli jo asennettuna. GPS-seuranta oli tutkitusta päivästä riippuen mahdollista kahdella tai kolmella jakoreitillä. Kuitenkin keskustan jakolenkillä GPS-paikannus oli aina käytettävissä. Pääasiassa GPS-paikannusta käytettiin määritettäessä auton pysähdyspaikkoja keskustan alueella.

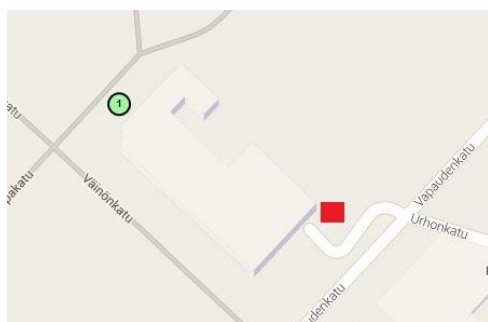
### **6.3 Tutkimuksen toteutus**

Työn tutkimusosan aloituspalaverissa yhdessä Kuljetusyritys X:n kanssa tutkimus rajattiin koskemaan vain Jyväskylän alueen jakelutoimintaa, jolloin tutkimus käsittäisi reittien optimoinnin Jyväskylässä ja sen lähialueilla.

Aloituspalaverin jälkeen yritys valmisti tietojärjestelmään kyselyn, jolla tutkimuksessa tarvittava asiakasdata saatiin käytettäväksi suoraan Excel-muodossa. Saatua Excel-tiedostoa tuli kuitenkin muokata ja täydentää LogiAppsien hyväksymän CSV-tiedoston mukaiseksi. LogiApps vaatii jokaiselle tilaukselle annetun täydellisen toimitusosoitteen lisäksi täydelliset osoitetiedot noutopisteestä, eli jakelutapahtuman osalta terminaalista, josta tilaus lastattiin autoon. Tärkeimpiä täydennyksiä tiedostoon optimoinnin onnistumisen kannalta olivat tilauksen toimitusosoitteen palveluaika ja palvelun aikaikkuna. Myös aikaikkunat valmiiksi sisältäneiden tilausten osalta muotoilua tuli muuttaa LogiAppsien ymmärtämään muotoon.

Osoitetiedot osoittautuivat ongelmallisiksi tutkimuksen oikeellisuuden ja jouhevuuden kannalta. Ongelmia aiheuttivat pakettien tiedoissa olleet puutteelliset osoitetiedot, jolloin LogiApps:n optimointipalvelu ei onnistunut paikantamaan niitä oikein kartalle. Ongelmat johtuivat pääasiassa osoitteiden kirjoitusvirheistä, lyhenteistä tai osoitteiden vääristä postinumeroista. Joissain tapauksissa myös toimitusosoitteessa olleet asunnonnumerot aiheuttivat paikannusvirheitä. LogiApps onnistui paikantamaan puutteellisetkin osoitetiedot melko hyvin kartalle, mutta käyttäjän oli hyvä varmistaa epäselvien paikannusten oikeellisuus, jotka ohjelma korosti eri värillä. Epäselvien paikannusten läpikäyminen vei kuitenkin aikaa, joten parhaaksi toimintamalliksi osoittautui asunnonnumerojen poistaminen osoitetiedoista sekä selvästi virheellisten osoitteiden korjaaminen Excel-tiedostossa ennen LogiAppsiin lataamista, jolloin epäselvien paikannusten määrä laski selvästi.

Toinen, suurempia hankaluuksia aiheuttanut ongelma, liittyi paketissa olleen osoitteen ja varsinaisen toimitusosoitteen eroavaisuuksiin. Ongelma tuli erityisesti esiin kaupungin keskustassa, joka on Jyväskylässä kävelypainotteinen. Suurimpaan osaan Jyväskylän kauppakeskuksissa ja kävelykadulla sijaitseviin liikkeisiin jakelu suoritetaan eri osoitteesta kuin mikä paketin kolliosoitelappuun on merkitty. Kauppakeskuksien jakelu suoritetaan huoltokäytävien kautta, jolloin monta erillistä asiakasta saadaan palveltua samalla kertaa eikä ajoneuvoilta kielletylle kävelykadulle tarvitse ajaa. Ongelma on kuvattu kuviossa 5. LogiApps on paikantanut asiakkaan osoitteen (ympyrä) aivan oikein Kauppakadulle, mutta jakelu suoritetaan Vapaudenkadun puolelta, joka on kuvattu neliöllä.



**Kuvio 5. Osoitteiden paikannus**

LogiApps-optimointiohjelma toimii kuitenkin pelkkien osoitteiden perusteella, jolloin lähes jokaisen tilauksen osoite keskustan alueella tuli vaihtaa vastaamaan oikean huoltokäytävän, lastausalueen tai lastauslaiturin osoitetta, jotta optimointi vastaisi todellista tilannetta. Osoitteiden muuttamisessa vastaamaan todellista tilannetta käytettiin kuljettajien haastatteluja sekä tutkijan omia havaintoja GPS-paikannuksen ja näköhavaintojen perusteella. Vaikka LogiApps mahdollistaa osoitteiden muuttamisen ja määrittämisen toiseen paikkaan, helpoimmaksi tavaksi suorittaa muutokset osoittautui niiden suorittaminen niin pitkälle kuin mahdollista Excel-tiedostossa, ennen tiedoston lataamista optimointipalveluun.

Pienpakettien jakelun luonteen vuoksi hyvin suuri osa ajoneuvon ajasta jakelukierroksella kuluu palveluaikaan eli asiakaspysähdyksiin ajoneuvon siirtämisen välillä. Palveluajan keston määrittäminen vaikuttaa hyvin paljon saadun optimoidun ratkaisun oikeellisuuteen ja toteutuskelpoisuuteen, johon asiakaspysähdysten suuri määrä aiheuttaa omat hankaluutensa.

Pysähdyksen keston määrittämisen perusteena käytettiin yrityksen selvitystä omasta toiminnastaan. Selvityksessä tutkittiin muun muassa Kuljetusyritys X:n keskimääräisen jakelutapahtuman kestoa. Tutkimuksen tulokset sekä sen perusteella optimoinnissa käytetyt minimipalveluajat on esitetty alapuolella taulukossa 1.

**Taulukko 1. Jakelutapahtuman kesto**

Jakotapahtuma	Tutkimus	Optimointi
Yritys	2:31	3:00
Yksityinen	3:05	4:00

Optimoinnissa käytetyt minimipalveluajat ovat pidempiä kuin Kuljetusyritys X:n tutkimuksen vastaavat ajat. Syy pidempään palveluaikaan on optimointisovelluksen toiminnassa, jossa pienpakettien jakelulle tyypilliset lyhyet auton siirrot aiheuttivat ongelmia. Jos ajomatka seuraavaan jakelupisteeseen kesti optimointiso-



velluksen mukaan alle minuutin, ei aikaa kulunut tällöin ajoneuvon siirtoon ol-  
lenkaan. Asiakaspysähdysten määrän ollessa suuri, liian nopeat siirtymiset seu-  
raavaan asiakaspisteeseen aiheuttivat epätarkkuutta optimointiin. Ajoneuvon  
siirtoon kuluva aika päätettiin lisätä palveluaikaan kompensoimaan optimointial-  
goritmin ajankäsittelyn erikoisuutta.

Palveluajan aikana kuljettaja etsii lähetyksen autosta, vie lähetyksen asiakkaan  
luo, ottaa asiakkaalta kuittauksen lähetyksen vastaanottamisesta sekä palaa au-  
tolle. Jokainen pysähdyspaikka on erilainen, joka aiheuttaa luonnollista vaihtelua  
pysähdysten kestossa. Erityisesti lähetyksen viemiseen asiakkaalle kuluvaan ai-  
kaan vaikuttaa lähetyksen koko, sillä lähetys voi koostua useista paketeista tai  
sen suurin paino voi hidastaa liikkumista. Painava ja monta pakettia sisältävä lä-  
hetys vaikeuttaa esimerkiksi hissittömässä kerrostalorapussa liikkumista huo-  
mattavasti ja kuljettaja saattaa joutua käymään useasti autolla ennen kuin lähe-  
tys on kokonaan toimitettu asiakkaalle. Jotta pysähdysten keston saataisiin  
vaihtelua myös optimoinnissa, pysähdysten kestoja pidennettiin jos lähetys sisälsi  
yli 5 pakettia tai se painoi yli 40 kiloa. Pysähdysten maksimikestoksi määritettiin  
7 minuuttia yrityksille ja 8 minuuttia yksityisasiakkaille. Jos useampi lähetys oli  
osoitettu samaan osoitteeseen, määritettyä palveluaikaa säädetiin pienemmäksi  
ja yhdisteltiin, jotteivät pysähdysten kestot kasvaisivat liian suuriksi. Tällaisia ta-  
pauksia olivat esimerkiksi Technopoliksen hallinnoimat rakennukset, joissa toi-  
mii lukuisia yrityksiä saman osoitteen alla, ja paketit on usein mahdollista jättää  
yhteen paikkaan kuten esimerkiksi infoon.

Jotta tutkimus voitiin toteuttaa, tarvittiin tietoa ajoneuvojen kulkemista reiteistä  
ja niiden pituuksista. Ongelmia mittaukseen toi pienpakettien jakelulle erittäin  
luonteenomainen stokastisuus eli satunnaisuus. Auton reitille on mahdollista  
tulla muutoksia vielä sen jälkeenkin kun jakeluauto on lähtenyt terminaalilta ja-  
kelukierrokselleen. Tällaisia muutoksia ovat saapuvat noutotilaukset sekä asiak-  
kaiden tekemät muutokset jakeluosoitteeseen tai jakeluajankohtaan. Optimoin-  
tiohjelma ei pysty ottamaan stokastisia tapahtumia huomioon, joten vertailu pää-  
tettiin tehdä niiden tilausten kesken, jotka olivat ajojärjestelijän tiedossa reittiä  
suunniteltaessa ja auton lähtiessä terminaalilta. Näin ollen autojen ajamien reit-

tien pituuksien vertaaminen esimerkiksi matkamittarin lukeman tai GPS-paikkunuksen perusteella optimoituun reittiin ei olisi luonut oikeaa kuvaa tutkimuksen tuloksista, sillä todellisessa elämässä auton reitti oli saattanut sisältää muutoksia tai pysähdyksiä, jotka eivät olleet reittiä suunniteltaessa tiedossa. Lisäksi jokainen kuljettaja ajaa reitin hieman eri tavalla, joka aiheuttaa myös eroa tutkimuksen tuloksiin. Vertailu ajetuista kilometreistä tehtiin tietokoneella LogiApps:n karttapohjan avulla, jolloin optimoinnin tuloksia verrattiin ajojärjestelijän suunnittelemaan reittiin.

Jokaisesta tutkimuspäivästä tehtiin kolme erilaista optimointiajoa, jolloin optimointisovelluksen ominaisuudet tulisivat hyvin esille samalla paljastaen mahdollisia säästökohteita. Ensimmäisessä optimointiajossa optimoitiin vain ajojärjestelijän suunnittelemien reittien ajojärjestys, eikä asiakastilauksia vaihdettu suunniteltujen autojen kesken. Näin ollen myös autojen määrä pysyi samana kuin ajojärjestelijän suunnitelmassa. Toisessa optimointiajossa, vapaassa optimoinnissa, optimointialgoritmillä oli täysi päätäntävalta siitä, millä autolla kukin asiakaspysähdys ajettaisiin. Käytettävien ajoneuvojen määrä oli optimointisovelluksen päätettävissä, maksimin ollessa kuitenkin ajojärjestelijän suunnitelman mukainen määrä. Kolmannessa optimointiajossa, vyöhyke-optimoinnissa, optimointialgoritmin toimintaa oli osin rajoitettu noudattamaan jakeluvyöhykkeitä. Muuramen ja Korpilahden alueen asiakaspysähdyksille määrättiin yksi auto ajojärjestelijän suunnitelman mukaan, kuten myös Suolahden ja Äänekosken alueen asiakaspysähdyksille. Muut asiakaspysähdykset optimointialgoritmi sai määrittää vapaasti. Kaikissa kolmessa optimointiajossa tilausten aikaikkunat pysyivät samoina.

Ennen varsinaisen tutkimuksen tekemistä ajettiin kolmen päivän osalta optimoinnin testiajoja. Testiajoilla testattiin optimointiparametrien oikeellisuutta, jotta optimointi vastaisi todellista tilannetta. Testeissä keskityttiin erityisesti pysähdysten keston määrittämiseen sekä sopivan nopeuskertoimen määrittämiseen ajoneuvoille. Testien jälkeen toteutettiin varsinainen tutkimus, johon kerättiin dataa viideltä jakelupäivältä. Data kerättiin arkipäiviltä 10.2.2015–16.2.2015.

## 7 TULOKSET

Tulosten tarkkojen lukujen luottamuksellisuuden vuoksi julkisessa työssä esitetään vain prosentteja. Tarkat tutkimustulokset ovat työn liitteenä. Jokaisen tutkimuspäivän optimoinnin tuloksia on verrattu kyseisen päivän ajojärjestelijän suunnitelmaan.

Tutkimuksen ensimmäinen päivä oli tiistai 10.2.2015. Optimoinnin tulokset on esitetty alapuolella taulukossa 2. Ajojärjestelijän reittisuunnitelman ajojärjestyksen optimointi tuotti 6,6 % säästön ajomatkaan. Optimointialgoritmin täysin vapaasti suunnittelema reititys pidentää ajomatkaa 0,1 %. Ongelmia vapaalle optimoinnille aiheuttivat Muuramen alueen asiakkaat, joiden palvelemiseen ohjelma käytti kahta autoa. Vyöhyke-optimoinnissa ongelma on poistettu määrittämällä Muurameen käytettäväksi yksi auto, jolloin vyöhyke-optimointi tuotti ajojärjestelijän suunnitelmaan verrattuna 8,5 % säästön.

**Taulukko 2. Reititys tiistai 10.2.2015**

<b>Reititys</b>	<b>Ajomatka</b>	<b>Käytetyt autot</b>
<b>Ajojärjestelyn suunnitelma</b>	100 %	100 %
<b>Ajojärjestys optimoituna</b>	93,4 %	100 %
<b>Vapaa optimointi</b>	100,1 %	100 %
<b>Vyöhyke-optimointi</b>	91,5 %	100 %

Tutkimuksen toinen päivä ajettiin keskiviikkona 11.2.2015. Päivän tulokset on esitetty taulukossa 3. Ajojärjestyksen optimointi paransi tulosta hieman yli 11 %. Myös algoritmin täysin vapaavalintaisella reitityksellä saavutettiin säästöä 3,5 %, mutta ratkaisu on selvästi heikompi kuin kahdella muulla optimointiajolla. Parhain tulos saatiin vyöhyke-optimoinnilla, jolla oli mahdollista säästää ajetuissa kilometreissä lähes 15 %. Huomattavaa on myös optimointiajon käyttämä ajoneuvojen määrä. Vyöhyke-optimointi tarvitsi annettujen asiakaspisteiden palvelemiseen 12 % vähemmän ajoneuvoja. Tämä tarkoittaa yritykselle huomattavaa säästöä kuljettajien palkkakustannuksissa sekä ajoneuvojen muuttuvissa kustannuksissa. Erityisesti palkkakustannuksia pienentämällä saavutetaan selkeitä säästöjä, sillä ne ovat pienpakettien jakelun suurin kuluerä.

**Taulukko 3. Reititys keskiviikko 11.2.2015**

<b>Reititys</b>	<b>Ajomatka</b>	<b>Käytetyt autot</b>
<b>Ajojärjestelyn suunnitelma</b>	100 %	100 %
<b>Ajojärjestys optimoituna</b>	88,8 %	100 %
<b>Vapaa optimointi</b>	96,5 %	100 %
<b>Vyöhyke-optimointi</b>	85,3 %	88 %

Tutkimuksen kolmas mittauspäivä oli torstai 12.2.2015. Optimointiajojen tulokset on esitetty taulukossa 4. Ajojärjestyksen optimoinnilla saavutettiin 9 % säästö. Vielä hieman parempi tulos saatiin vyöhyke-optimoinnilla, joka säästi ajomatkaa lähes 10 %. Optimointialgoritmin vapaasti reitittämä suunnitelma sen sijaan pidensi ajettua matkaa yli 13. Algoritmi oli jälleen ongelmassa Muuramen alueen kanssa, jossa käytiin peräti kolmella autolla mahdollisen yhden sijasta. Reititys sisälsi myös lukuisia päällekkäisyyksiä, jotka pidensivät ajomatkaa.

Taulukko 4. Reititys torstai 12.2.2015

Reititys	Ajomatka	Käytetyt autot
<b>Ajojärjestelyn suunnitelma</b>	100 %	100 %
<b>Ajojärjestys optimoituna</b>	91,0 %	100 %
<b>Vapaa optimointi</b>	113,2 %	100 %
<b>Vyöhyke-optimointi</b>	90,1 %	100 %

Tutkimuksen neljäs mittauspäivä toteutettiin perjantaina 13.2.2015. Päivä oli tutkimuspäivien osalta kiireisin, sillä se sisälsi eniten asiakaspysähdyksiä. Päivä oli myös poikkeuksellinen ajoneuvojen määrän suhteen, joita oli käytössä enemmän kuin muina tutkimuspäivinä. Päivän tulokset on esitetty taulukossa 5. Jälleen ajojärjestelijän tekemän ajosuunnitelman ajojärjestyksen optimointi lyhensi päivän kokonaisajomatkaa lähes 10 %. Kaikkien pisteiden vapaalla optimoinnilla saavutettiin vain hyvin pieni parannus ajettuihin kilometreihin, mutta suuremman säästön sai aikaan ajoneuvojen määrän pienentyminen. Erittäin hyvän tuloksen perjantain osalta tarjosi vyöhyke-optimointi. Vyöhyke-optimointi pienensi ajomatkaa 14 % sekä onnistui vähentämään käytettävien autojen määrää 22 %.

Taulukko 5. Reititys perjantai 13.2.2015

Reititys	Ajomatka	Käytetyt autot
<b>Ajojärjestelyn suunnitelma</b>	100 %	100 %
<b>Ajojärjestys optimoituna</b>	90,4 %	100 %
<b>Vapaa optimointi</b>	99,4 %	89 %
<b>Vyöhyke-optimointi</b>	86,0 %	78 %

Tutkimuksen viimeinen mittauspäivä oli maanantai 16.2.2015. Optimoinnin tulokset maanantain osalta on esitetty taulukossa 6. Ajojärjestyksen optimoinnilla saavutettiin 10 % säästö verrattuna ajojärjestelijän alkuperäiseen suunnitelmaan. Myös vapaalla optimoinnilla saavutettiin säästöä ajettuihin kilometreihin noin 2 %. Vyöhyke-optimointi antoi jälleen parhaimman tuloksen. Ajetut kilometrit vähenivät 12,5 %. Vyöhyke-optimointi onnistui pienentämään myös käytettyjen ajoneuvojen lukumäärää.

**Taulukko 6. Reititys maanantai 16.2.2015**

<b>Reititys</b>	<b>Ajomatka</b>	<b>Käytetyt autot</b>
<b>Ajojärjestelyn suunnitelma</b>	100 %	100 %
<b>Ajojärjestys optimoituna</b>	90,0 %	100 %
<b>Vapaa optimointi</b>	98,0 %	100 %
<b>Vyöhyke-optimointi</b>	87,5 %	88 %

## 8 TULOSTEN ANALYSOINTI

### 8.1 Optimoinnin tulokset

Optimoinnin osalta tulokset olivat vaihtelevia. Suurin säästö saavutettiin jokaisena tutkittuna päivänä vyöhyke-optimoinnilla, jossa sekä Muuramen että Äänekosken alueen asiakaspysähdyksille oli kullekin määritetty oma auto optimointialgoritmin määrittäessä muut asiakaspysähdykset vapaasti. Kyseinen toimintamalli esti optimointipalvelua käyttämästä useampaa ajoneuvoa pidempää ajomatkaa vaativissa asiakaspysähdyksissä. Ajomatkan säästämisen lisäksi vyöhyke-optimoinnilla onnistuttiin säästämään reititykseen käytettävissä autoissa.

Hyvään tulokseen päästiin myös ajojärjestelijän suunnittelemien reittien ajojärjestyksen optimoinnilla. Vaikka Kuljetusyritys X:n toiminnassa suunnitellut reitit ja niiden alueet ovat tarkkaan mietityt, ajojärjestystä muuttamalla on mahdollista saavuttaa säästöjä. Osin optimoinnin tuloksia paransivat hieman oikeaa elämää laajemmat toimitusten aikaikkunat, joita määritettiin ohjelman käyttöön algoritmin paremman toiminnan vuoksi. Jo 5–10 minuutin aikaikkunan laajentamisella saavutettiin parempia tuloksia. Aikaikkunoiden määrittämisellä laajemmiksi ohjelman käyttöön annettiin pehmeät aika-ikkunat, jolloin optimointialgoritmin oli mahdollista rikkoa sovittuja toimitusaikoja annetun laajemman aikaikkunan puitteissa. Toinen ihmisen luoman reittisuunnitelman mukaisessa ajojärjestyksessä huomioon otettu tekijä ovat ruuhkat, jotka hidastavat jakelulenkin etenemistä. Suurien pääteiden ylitysten vähentämisellä saatetaan säästää aikaa, joka tarkoittaa lisäaikaa käytettäväksi jakelussa, vaikka ajomatka hieman pitenisikin. Optimointialgoritmi ei osaa ottaa iltapäiväruuhkan vaikutuksia huomioon rakentaessaan reittiä.

Ohjelman täysin itsenäisesti suorittama vapaa optimointi antoi vaihtelevia tuloksia. Tulokset paranivat vain hieman verrattuna ajojärjestelijän suorittamaan reititykseen tai joissain tapauksissa optimoinnin antama tulos oli myös selvästi heikompi. Täysin vapaassa optimoinnissa käsiteltävä ongelma oli kaikista suurin, sillä yhdellekään stopille ei ollut määritetty autoa valmiiksi. Syy täysin vapaan

optimoinnin huonompaan suoriutumiseen ongelman ratkaisussa saattaa olla optimointialgoritmin suunnittelussa. Käytössä oleva algoritmi pystyy ratkaisemaan myös vaikeamman noudon- ja jakelun ongelman, jossa asiakastilauksen kumpanakaan pisteenä ei ole kuljetusliikkeen terminaali. Näin ollen algoritmin antama ratkaisu tutkimustapauksen ajoneuvojen reititysongelmaan aikaikkunoilla (VRPTW) ei ole optimaalinen, sillä algoritmi ei ole suunniteltu täysin tämän tällaisen ongelman ratkaisemiseen. Ongelman vapaan optimoinnin suunnittelmien reittien toteuttamiseen luo myös niiden monimutkaisuus. Kuljettajalla ei välttämättä ole yhtä selvää lenkkiä tai aluetta josta hän on vastuussa, vaan optimoidun jakolenkin pysähdykset saattavat sijaita lähes missä tahansa. Myös ajojärjestelyn kannalta vaikeaselkoiset ja monimutkaiset reitit ovat ongelmalliset, sillä niiden hallitseminen on vaikeaa. Vierekkäiset osoitteet saatetaan optimoinnin mukaisessa reitityksessä palvella eri autoilla, joka vaikeuttaa muutosten tullessa ajojärjestelijän päätöksentekoa. Toinen tekijä ovat saapuvat noutopyynnöt, jolloin ajojärjestelijä joutuu selvien alueiden puuttuessa käyttämään aikaa selvittämään, mikä auto on lähimpänä noutokohdetta.

Kaikkien kolmen optimointiajon tuloksiin suurin vaikuttava tekijä oli aika, sillä aikaikkunat lähetysten perille saamiseksi ovat hyvin tiukat ja käytettävissä oleva jakoaika toiminnan luonteesta johtuen on hyvin lyhyt. Näin ollen esimerkiksi vähemmällä autoilla reitittäminen oli käytännössä hyvin vaikeaa, sillä tällöin osa asiakkaista jäisi palvelematta aikaikkunoidensa puitteissa. Myös tutkimuksesta pois jätetyt noutopyynnöt osittain sanelevat käytettävien ajoneuvojen lukumäärät sekä niiden alustavat reitit.

Virheitä optimointiajoihin loi pysähdyksen keston tarkka määrittäminen. Kuten aikaisemmin todettua, pysähdyksen kestossa täytyi huomioda optimoinnin toiminnasta johtuen myös ajoneuvon lyhyet siirrot kohteesta toiseen. Siirron kesto riippuu oikeassa elämässä myös kellonajasta, sillä lähempänä iltapäivä neljää liikenteen sujuvuus heikkenee. Optimoinnissa käytetty pysähdyksen kesto saattoi siis olla osassa tapauksista liian pitkä tai liian lyhyt. Pysähdyksen keston tarkempi määrittäminen olisi vaatinut laajan oman tutkimuksen tai erittäin tarkan GPS-seurannan käyttöönoton kaikissa Jyväskylän alueen ajoneuvoissa.



Koska GPS-seurannan käyttäminen ajoneuvojen ajettujen kilometrien seurantaan ei ollut järkevää muutosten ja reitiltä poikkeamien vuoksi, suoritettiin ajettujen kilometrien vertaaminen LogiApps:n avulla. Kuitenkin LogiApps:n karttasovellus käyttää eri karttatietokantaa kuin optimointipalvelu, josta saattoi aiheutua pientä virhettä ”ajettuihin kilometreihin” ja siten tutkimuksen tuloksiin.

## 8.2 Optimoinnin mahdollinen käyttö Kuljetusyritys X:ssä

Selvitys on esitetty työn liitteissä, jotka ovat luottamuksellisia.

## 8.3 Luotettavuuden arviointi

Tutkimuksella saadut tulokset ovat optimoinnin osalta linjassa muiden reittioptimointia käsitelleiden tutkimusten kanssa. Esimerkiksi Tomi Aalto tutki omassa pro gradu- tutkielmassaan jätehuollon reittien optimointia saaden keskimäärin 2–13 % parannuksia tutkitusta reitistä riippuen (Aalto, 2013). Myös Olli Bräysyn suorittamassa case-tutkimuksessa Jyväskylän kaupungin ateriakuljetusten osalta päästiin 12,4 % säästöön ajetuissa kilometreissä kovia kahden tunnin aikaikkunoita noudattaen. Osassa tutkimuksista saavutetut säästöt ovat vielä näitäkin huomattavasti suurempia.

Tutkimuksessa käytetyt tiedot perustuvat tutkitun yrityksen kyseisten päivien todellisiin tilaustietoihin, joka oli erityisen tärkeää tutkimuksen luotettavuuden kannalta. Tutkimuksessa otettiin huomioon kaikki jakelutapahtumat, jolloin tahallista tai tahatonta valikointia toimituspisteiden kesken ei päässyt tapahtumaan. Kaikkien noutotilausten poisjättäminen tutkimuksesta vaikuttaa hieman lopputuloksiin. Vaikka esimerkiksi keskustan aluetta tarkastelemalla hyvin suuri osa noutotilauksista oli samoihin osoitteisiin kun reitillä olleet jakelut, ajojärjestelijä on huomioinut tiedossa olleet noutotilaukset reittiä suunnitellessaan. Optimointialgoritmilli ei ollut käytössään tietoa noudoista, jolloin sen laatima reitti on hieman parempi kuin ajojärjestelijän suunnitelma. Noutojen poisjättäminen vaikuttaa myös pysähdysten määrään, joka voi tarkoittaa, ettei optimoinnilla saavutettua säästöä autojen määrässä pystytä aikataulujen puitteissa toteuttamaan.

Ajojärjestelijän suunnitelman mukaista reittiä ei voitu toteuttaa optimointipalvelulla, vaan ajetut kilometrit saatiin LogiApps-karttasovelluksesta, joka saa tietonsa Googelta. Optimointipalvelu käyttää eri karttalähdettä ajettujen kilometrien laskemiseen, jolloin tulokset voivat erota hieman toisistaan. Ongelmia saattoivat aiheuttaa esimerkiksi uudet tiet, jotka eivät olleet kerenneet päivittyä molempiin palveluihin. Vertailun luotettavuutta reittien osalta puolestaan lisäsi tulosten vertailu ajojärjestelyn suunnitelmien ja optimointiajojen kesken. Tällöin kuljettajan vaikutus reitin pituuteen ja ajojärjestykseen saatiin eliminoidua pois tutkimuksen tuloksista. Myöskään tutkimuksesta pois jätettyjen noutopyyntöjen palveleminen ei päässyt vaikuttamaan tuloksiin.

Pysähdysten keston määrittelyn oikeellisuus oli erittäin suuressa osassa tutkimuksen luotettavuuden kannalta. Pysähdysten keston määrittämiseen käytettiinkin jo olemassa olevaa tutkimusdataa kohdeyrityksestä, jolloin lähtökohta tutkimuksen oikeellisuudelle oli hyvä. Virhettä pysähdysten keston määrittämiseen loi optimointiohjelman toiminta, jolloin auton pieniin siirtoihin kuluva aika tuli huomioida pysähdysten kestossa.

Tutkimuksen voidaan todeta olevan luotettava käytössä olleen datan perusteella. Optimointiajot ovat keskenään vertailukelpoisia, sillä ne perustuvat samaan dataan pysähdysten keston ja osoitteiden osalta. Virheitä luovat tekijät pyrittiin minimoimaan tai jättämään tutkimuksen ulkopuolelle. Noutopyyntöjen sisällyttäminen tutkimukseen esimerkiksi vakionautojen osalta olisi kuitenkin parantanut tutkimuksen luotettavuutta vielä lisää.

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää LogiAppsin optimointipalvelun kykyä rakentaa reititys pienpakettien jakelua harjoittavalle yritykselle sekä tutkia optimointipalvelulla mahdollisesti saatavia säästöjä. Saatujen tulosten perusteella reittien optimoinnilla olisi mahdollista saavuttaa merkittäviä vuotuisia kustannussäästöjä. Kustannussäästöjen ohella ajokilometrien pienentyessä saadaan myös nykyisin yhä tärkeämpiä ympäristöhyötyjä. Kuitenkin, kuten vapaan optimoinnin tulokset osoittavat, ohjelmiston kyvyssä luoda reititys täysin itsenäisesti pienpakettien jakeluun on vielä suuria puutteita. Vapaalla optimoinnilla saavutetut tulokset olivat selvästi heikompia kuin kahdella muulla optimointitavalla ja suurimmaksi ongelmaksi muodostui reittien hallittavuus useiden päällekkäisyyksien johdosta. Toisaalta voidaan todeta, että Kuljetusyritys X on onnistunut suunnittelemaan reittialueensa hyvin, jolloin vapaa optimointi ei onnistunut löytämään merkittäviä parannuksia.

Parhaaksi ratkaisuksi Kuljetusyritys X:n nykyisen toiminnan pohjalta osoittautui ehdottomasti vain ajojärjestyksen optimointi, jolloin optimointipalvelua ei tarvitsisi integroida niin laajaksi osaksi jo olemassa olevaa toiminnanohjausjärjestelmää. Vaikka rajoitetulla optimoinnilla saatiin parhaimmat tulokset, reittien hallittavuus sekä integrointi osaksi nykyisin käytössä olevaa järjestelmää tuottaisivat vaikeuksia. Ajojärjestyksen optimoinnista voitaisiin tehdä tarkempi jatkotutkimus, jossa jokaisen auton liikkeitä tutkittaisiin tarkemmin sekä erityisesti aikakunoiden ja pysähdysten kestojen määrittämiseen kiinnitettäisiin huomattavasti enemmän huomiota. Näin saataisiin selville ajojärjestyksen optimoinnin oikea säästöpotentiaali.

Tutkimuksen tuloksia tarkastellessa täytyy kuitenkin muistaa pienpakettien jakelulle ominainen dynaamisuus. Kesken päivää tulevia muutoksia ei ollut mahdollista ottaa optimoinnissa huomioon. Myös noutopyynnöt jätettiin tutkimuksesta pois, osin koon rajaamisen vuoksi ja osin noutopyyntöjen stokastisen luonteen vuoksi. Optimoinnin kannalta dynaamisuuden lisääminen tarkoittaa huomattavasti monimutkaisempaa ongelmaa ja on täten vaikeampi ratkaista.

Optimointialgoritmin ja optimointipalvelun toiminnan kannalta tutkimus toi esiin muutamia puutteita, jotka vaikuttavat erityisesti kaupungissa tapahtuvaan pienpakettien jakeluun. Optimoinnin tuloksia tarkastellessa voidaan todeta, että parhaimmat tulokset saavutettiin vyöhyke-optimoinnilla. Tällä hetkellä varsinainen vyöhyke-optimointi-ominaisuus kuitenkin puuttuu LogiAppsien optimointipalvelusta, jolloin vyöhykkeiden optimointi vaati optimointiajon tekijältä manuaalista työtä autojen määrittämisessä ja lukitsemisessa. Kehitysehdotuksena ohjelmistoon ehdotetaan vyöhykkeiden määrittelyä esimerkiksi karttapohjan avulla, jolloin manuaaliselta autojen lukitsemiselta vältytään ja optimoinnilla saavutetaan parempia tuloksia.

Ohjelmasta toistaiseksi puuttuva ominaisuus ovat myös pehmeät aikaikkunat, jolloin toimituksen aikaikkunan rikkomiselle voidaan määrittää jokin toleranssi. Ongelma kierrettiin määrittämällä vain varsinaista aikaikkunaa hieman pidemmäksi.

Ohjelman ongelmat lyhyiden siirtymien kanssa vääristävät tuloksia, kun asiakkaat ovat hyvin lähellä toisiaan. Algoritmien tulee tulevaisuudessa ottaa huomioon myös ruuhkien vaikutus ajoneuvon etenemisnopeuteen tulosten parantamiseksi.

Hyödyllisenä ominaisuutena optimointipalveluun tulisi myös lisätä mahdollisuus määrittää ajoneuvoille muuttuvat ja kiinteät kustannukset sekä työntekijän palkkakustannukset. Tällöin optimointipalvelu voisi optimoida kustannuksia ajomatkan tai työajan sijaan, joka on varmasti myös kuljetusyritysten intressien mukaista. Kustannusten näkyminen optimoinnissa helpottaa myös ajojärjestelijän työtä, jolloin eri reittivaihtoehtojen vertaaminen ja yrityksen kannalta parhaimman vaihtoehdon valitseminen helpottuu.

Pienpakettien jakelulle tyypillistä on myös useamman asiakkaan palveleminen yhdellä kertaa, jolloin ajoneuvoa ei siirretä. Tulevaisuudessa optimointiohjelmien kehittyessä yhä paremmiksi ja paremmiksi ohjelmistot voisivat ottaa myös tällaiset seikat huomioon, tällä hetkellä lähekkäin olevien stoppien yhdistäminen

jää optimointiajon tekijän vastuulle. Erityisen tärkeää tulevaisuudessa optimointiohjelmistoille on kyky dynaamiseen ja reaaliaikaiseen optimointiin, jolloin päivän aikana tapahtuvat muutokset pystytään ottamaan huomioon optimoidessa ja täten parantamaan toiminnan tehokkuutta. LogiApps:n optimointipalvelun käytöstä kerätyt huomiot ja tulevaisuuden kehitysehdotukset on kerätty vielä taulukkoon 7.

**Taulukko 7. Kehitysehdotukset**

<b>Kehitettävä ominaisuus</b>	<b>Syy</b>
<b>Vyöhyke optimointi</b>	Paremmat optimointitulokset, manuaalisen työn vähentäminen, hallittavammat reitit
<b>Pehmeät aikaikkunat</b>	Mahdollistaa optimoinnin paremman toiminnan käyttäjän asettamin rajoittein
<b>Lyhyet siirtymiset</b>	Todenmukaisemmat optimoinnin tulokset lyhyillä ajoneuvon siirroilla
<b>Dynaaminen optimointi</b>	Tulevaisuudessa ehdottoman tärkeä ominaisuus optimoinnin käytön kannalta
<b>Ruuhkat</b>	Tulevaisuudessa tärkeä ominaisuus optimoinnin tarkempien matka-aikojen kannalta

Nykyisessä yhä kiristyvässä kilpailutilanteessa kuljetusten optimointi luo oikein toteutettuna selviä säästöjä kuljetuskustannuksiin ja väitettä tukevat lukuisat tutkimukset ympäri maailmaa. Kuljetusten optimointi on melko uusi liiketoiminnan alue, mutta sen merkitys tulevaisuudessa tulee varmasti kasvamaan suuresti.

## LÄHTEET

- Aalto, T. 2013. Tehokkuutta jätehuoltoon – tyhjennysreittien optimointi pääkaupunkiseudulla. Pro gradu- tutkielma. Helsingin yliopisto. Helsingin yliopiston HELDA-tietokanta.
- Ajoneuvon kustannuslaskennan perusteet. 2009. SKALin opas kustannusten laskentaan. Viitattu 2.3.2015.  
[http://www.skali.fi/files/4554/Kustannuslaskennan\\_perusteet\\_2009.pdf](http://www.skali.fi/files/4554/Kustannuslaskennan_perusteet_2009.pdf)
- Bell, J. & McMullen, P. 2004. Ant colony optimization for the vehicle routing problem. *Advanced Engineering Informatics*, 18, 41-48. Viitattu 28.1.2015.  
<http://natcomp.liacs.nl/SWI/papers/ant.colony.optimization/Ant%20colony%20optimization%20techniques%20for%20the%20vehicle%20routing%20problem.pdf>
- Bräysy, O. 2007. Optimoinnin hyödyt kunnallisissa kuljetuksissa ja palveluissa. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto
- Bräysy, O. & Porkka, P. 2007. Tehokkuutta logistiikkaan kaluston reitinoiminnilla. *Logistiikka* 6/2007, 38–39. Helsinki: Suomen Logistiikkayhdistys ry
- DHL aikataulu, 2013. 13.6.2013 julkaistu uutinen DHL Expressin aikataulumuutoksista ilmailu-uutisiin erikoistuneelta Lentoposti.fi-sivustolla. Viitattu 3.2.2015  
[http://www.lentoposti.fi/uutiset/dhl\\_express\\_parantaa\\_lentopikakuljetuspalveluaan\\_aikaisempi\\_lento\\_suurempi\\_kone](http://www.lentoposti.fi/uutiset/dhl_express_parantaa_lentopikakuljetuspalveluaan_aikaisempi_lento_suurempi_kone)
- Eiselt H. A., Gendreau, M., Laporte, G. 1995. Arc Routing Problems, Part I: The Chinese Postman Problem. *Operations Research* 43, 2, 231–242. Viitattu 15.1.2015.  
<http://pubsonline.informs.org/doi/pdf/10.1287/opre.43.2.231>
- Euchi, J. 2012. Metaheuristics to solve some variants of vehicle routing problems. Staarbürcen: LAP Lambert Academic Publishing
- Esri Finland 2012. Esri Finland asiakaslehti 1/2012. Espoo: Esri Finland Oy
- Ghiani, G., Laporte, G., Musmanno, R. 2013. Introduction to Logistic systems management. 2 p. Chichester: John Wiley & Sons
- LogiApps toiminnanohjaus. n.d. Ohjelmiston toimintojen kuvaus LogiAppsin internet-sivustolla. Viitattu 7.4.2015.  
<http://www.logiapps.fi/toiminnot/kuljetusliikkeen-toiminnanohjaus/>
- Haataja, J. & Passi, P. 2013. Postimarkkinan tulevaisuudennäkymät. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 16/2013. Viitattu 2.3.2015.  
[http://www.lvm.fi/docs/fi/2497123\\_DLFE-19701.pdf](http://www.lvm.fi/docs/fi/2497123_DLFE-19701.pdf)

Han, S. & Tabata, Y. 2002. A Hybrid Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Controlling Lethal Gene. *Asia Pacific Management Review* 7, 3, 405–426. Viitattu 27.1.2015.

<http://apmr.management.ncku.edu.tw/comm/updown/DW0904292282.pdf>

Hokkanen, S., Inkinen, M., Käenmäki, J. 2010. Tavaraliikenneyrittäjä. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu Logistiikka.

Ihanteellista lentorahtia. *Cargo news* 1/2007, 7. Finnair Cargon asiakaslehti. Viitattu 27.2.2015.

<http://digipaper.fi/cargonews/3459/index.php?pgnumb=7>

Karhunen, J., Pouri, R. & Santala, J. 2004. Kuljetukset ja varastointi : järjestelmät, kalusto ja toimintaperiaatteet. Helsinki: Suomen logistiikkayhdistys ry.

Kasilingam, R. 1998. *Logistics and Transportation*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers

Kumar, S. N., Panneerselvam, R. 2012. A Survey on the Vehicle Routing Problem and Its Variants. *Intelligent Information Management* 4, 3, 66–74. Viitattu 20.1.2015.

<http://dx.doi.org/10.4236/iim.2012.43010>

Laitinen, T. 2002. Kansainväliset lentorahtipalvelut Suomessa. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 26.2.2015

[http://www.tut.fi/verne/wp-content/uploads/kv\\_lentorahtipalvelut\\_suomessa.pdf](http://www.tut.fi/verne/wp-content/uploads/kv_lentorahtipalvelut_suomessa.pdf)

Leipzig Hub. n.d. Esittely DHL:n Euroopan jakelukeskuksesta Deutsche postin sivustolla. Viitattu 2.3.2015.

[http://www.dpdhl.com/en/logistics\\_around\\_us/from\\_our\\_divisions/leipzig\\_hub.html](http://www.dpdhl.com/en/logistics_around_us/from_our_divisions/leipzig_hub.html)

Mishra, D.N., Agarwal, S.K. 2009. *Operation Research*. Lucknow: Word-Press. Viitattu 17.3.2015.

<https://janet.finna.fi>, Ebrary eBook Collection.

Mäkelä, T. & Mäntynen, J. 1998. Kuljetukset logistiikan osana. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Mäkelä, T., Mäntynen, J. & Vanhatalo, J. 2005. *Logistiikka ja kuljetusjärjestelmät*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Ninikas, G., Athanasopoulos, T., Zaimpekis, V. & Minis, I. 2014. Integrated planning in hybrid courier operations. *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 25 nro: 3, s. 611 – 634. Viitattu 3.3.2015.

<Http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, Emerald Journals

Puranen, T. 2011. Metaheuristics Meet Metamodels: A Modelling Language and a product line architecture for route optimization systems. Väitöskirja. Jyväskylän yliopisto, Informaatioteknologian tiedekunta.

Pöllänen M., Mäntynen J. & Laitinen K. 2007. Tiekuljetukset. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto

Reinikainen, P., Mäntynen, J., Rantala, J. & Viitanen, S. 2002. Logistiikan perusteet. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto

Silvasti, P. & Asikainen, M. 2014. Optimoinnilla tehokkuutta kuljetusten suunnitteluun. Kuljetus & Logistiikka 2/2014, 30–31.

Tapio, P., Varho, V., Nygren, N., Järvi, T. & Tuominen, A. 2011. Liikennepolitiikan ilmasto. Baseline-kehitys sekä asiantuntijoiden ja nuorten visiot liikenteen hiilidioksidipäästöistä vuoteen 2050. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 19/2011. Viitattu 11.2.2015.  
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-244-5>

UPS Annual report 2013. UPS:n vuosikertomus vuodesta 2013. Viitattu 27.2.2015.  
<http://nasdaqomx.mobular.net/nasdaqomx/7/3275/4846/>



